This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

+ *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.

+ *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.

+ *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.

+ *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

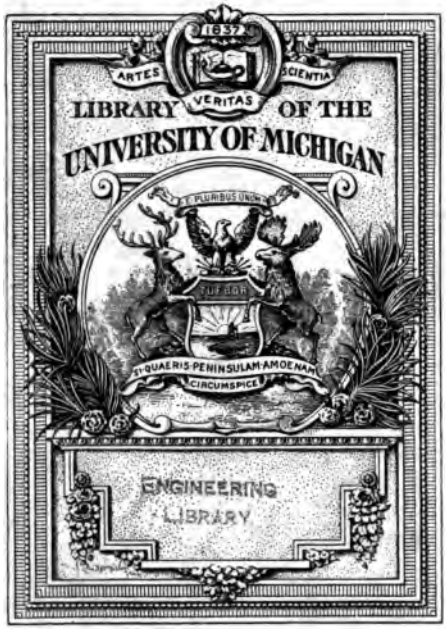
Über Google Buchsuche

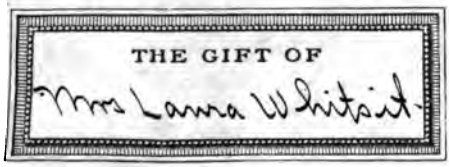
Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter `http://books.google.com` durchsuchen.

R. Vater

Wärmekraftmaschinen

Aus Natur und Geisteswelt





1837

ARTES VERITAS SCIENTIA

LIBRARY OF THE

UNIVERSITY OF MICHIGAN

E PLURIBUS UNUM

TUEBOR

SI QUAERIS PENINSULAM AMOENAM CIRCUMSPICE

ENGINEERING LIBRARY

THE GIFT OF

Mrs Laura Whitsit

Philosophie u. Lebensweisheit, Religion u. Theologie, Naturwissenschaften u. Medizin, Technik.

Die Philosophie der Gegenwart in Deutschland. Von Prof. Dr. O. Külpe in Würzburg. Geh. ℳ 1.—, geschmackvoll geb. ℳ 1.25

Schildert die drei Hauptrichtungen der neueren Philosophie der Gegenwart, nämlich den Positivismus, Materialismus, Naturalismus und Idealismus und ihre hervorragendsten Führer dieser Richtungen.

Die fünf Sinne des Menschen. Von Dr. Jos. Clem. Breitig in Wien. Mit 20 Abbild. im Text. Geh. ℳ 1.—, geschmackvoll geb. ℳ 1.25

Behandelt die Fragen über die Wahrnehmung, Zahl, Bedeutung und Pflege der Sinne in gemeinverständlicher Weise.

Allgemeine Pädagogik. Von Prof. Dr. Theobald Ziegler. Geh. ℳ 1.—, geschmackvoll geb. ℳ 1.25

Behandelt die großen Fragen der Volkserziehung in gemeinverständlicher, allgemein anregender Weise und in künstlerischer Form.

Die moderne Heilwissenschaft. Wesen und Grundsätze der ärztlichen Wissenschaft. Von Dr. G. Liebrecht. Deutsch von Dr. O. Korff, Oberarzt in Hildesheim. Geh. ℳ 1.—, geschmackv. geb. ℳ 1.25

Verschafft dem Laien in den Anfangsgründen ärztlichen Wissens und Könnens eine sicheren allgemeineren Überblick und erleichtert

Bau und Tätigkeit des menschlichen Körpers. Von Dr. H. Bachs. Mit 37 Abbildungen. Geh. ℳ 1.—, geschmackv. geb. ℳ 1.25

Lehrt die Einrichtung und Tätigkeit der einzelnen Organe des Körpers kennen und sie als Glieder eines einheitlichen Ganzen auffassen.

Die Leibesübungen und ihre Bedeutung für die Gesundheit. Von Prof. Dr. H. Hansen. Mit 19 Abbildungen im Text und auf 2 Tafeln. Geh. ℳ 1.—, geschmackvoll geb. ℳ 1.25

Will besonders anregen, geschickt und sicher gewählte Übungen als Leibesübungen regelmäßig betreiben, indem sie die Muskeln, namentlich die in Betracht kommenden Organe kräftigen.

Ernährung und Volksnahrungsmittel. Sechs Vorträge gehalten von Prof. Dr. Johannes Frenzel. Mit 9 Abbildungen im Text und 2 Tafeln. Geh. ℳ 1.—, geschmackvoll geb. ℳ 1.25

Gibt einen Überblick über die gebräuchlichsten und die neuen empfohlenen „Volksnahrungsmittel".

Acht Vorträge aus der Gesundheitslehre. Von Prof. Dr. H. Buchner. Mit zahlr. Abb. i. T. Geh. ℳ 1.—, geschmackv. geb. ℳ 1.25

Naturgemäße in Kurz und Übersicht gehaltene Belehrungen, [illegible] wichtigen Fragen der Hygiene.

Naturwissenschaften und Technik.

Die Grundbegriffe der modernen Naturlehre. Von Felix Auerbach. Mit Abbildungen. Geh. M 1.—, geschmackv. geb. M 1.25.

Der Autor stellt eine zusammenhängende, für jeden Gebildeten verständliche Entwicklung der Begriffe dar, die in der modernen Naturlehre eine allgemeine und exakte Rolle spielen.

Abstammungslehre und Darwinismus. Von Prof. Dr. R. Hesse in Tübingen. Mit zahlreichen Abbildungen. Geh. M 1.—, geschmackvoll geb. M 1.25.

Die große Errungenschaft der biologischen Forschung des vorigen Jahrhunderts, die Abstammungslehre, welche einen so ungemein befruchtenden Einfluß auf die sog. geschriebenen Naturwissenschaften gelöst hat, wird in diesem Schriftchen in kurzer, gemeinverständlicher Weise für weitere Kreise dargelegt.

Mikroskope. Von Dr. W. Scheffer. Mit zahlreichen Abbildungen. Geh. M 1.—, geschmackvoll geb. M 1.25.

Zweck des Büchleins ist, bei weiteren Kreisen Interesse und Verständnis für das Mikroskop zu erwecken.

Luft, Wasser, Licht und Wärme. Acht Vorträge aus der Experimental-Chemie. Von Prof. Dr. R. Blochmann. Mit 103 Abbildungen im Text. Geh. M 1.—, geschmackvoll geb. M 1.25.

Führt unter besonderer Veranschaulichung der alltäglichen Erscheinungen des praktischen Lebens in das Verständnis der chemischen Erscheinungen ein.

Schöpfungen der Ingenieurtechnik der Neuzeit. Von Bauinspektor Curt Merckel. Mit zahlr. Abbild. Geh. M 1.—, geschmackvoll geb. M 1.25.

Führt eine Reihe hervorragender und interessanter Ingenieurbauten nach ihrer technischen und wirtschaftlichen Bedeutung vor.

Unsere wichtigsten Kulturpflanzen. Von Privatdozent Dr. Gleisenhagen in München. Mit zahlreichen Abbildungen im Text. Geh. M 1.—, geschmackvoll geb. M 1.25.

Behandelt die Getreidepflanzen und ihren Anbau nach botanischen wie kulturgeschichtlichen Gesichtspunkten.

Das Licht und die Farben. Von Prof. Dr. L. Grunetz. Mit 113 Abbildungen. Geh. M 1.—, geschmackvoll geb. M 1.25.

Führt von den einfachsten optischen Erscheinungen ausgehend zur tieferen Einsicht in die Natur des Lichtes und der Farben.

Der Kampf zwischen Mensch und Tier. Von Prof. Dr. Karl Eckstein. Mit 31 Abbild. i. T. Geh. M 1.—, geschmackv. geb. M 1.25.

Der hohe wirtschaftliche Bedeutung beanspruchende Kampf erfährt eine [illegible] ebenso interessante wie lehrreiche Darstellung.

LIBRARY
TJ 755 V34

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig.

Das Eisenhüttenwesen

erläutert in acht Vorträgen von

Geh. Bergrat Professor Dr. H. Wedding.

Mit 12 Figuren im Text.

Geh. 90 Pf., geb. 1 Mk. 15 Pf.

Das Eisen ist das unentbehrlichste Metall, ohne dessen Gebrauch das gegenwärtige Leben gebildeter Völker nicht zu denken ist. Seine mannigfachen Eigenschaften in Verbindung mit dem Elemente Kohlenstoff und sein geringer Preis sichern ihm diese Stellung.

Seine Herstellung ist viel schwieriger als die aller anderen Metalle und bedingt die Kenntnis einer großen Menge naturwissenschaftlicher Grundsätze, verlangt die Anwendung verwickelter Vorgänge und den Bau zahlreicher Vorrichtungen von zum Teil ungeheurer Größe, wie Hochofen, Winderhitzer, Gebläsemaschine, Bessemerbirne.

Wie von jedem gebildeten Menschen erwartet werden darf, daß er weiß, auf welche Weise Brot hergestellt wird, so sollte auch von jedem eine wenigstens allgemeine Kenntnis der Vorgänge vorausgesetzt werden dürfen, vermittelst derer Eisen erzeugt und in seine Gebrauchsformen gebracht wird. Das ist der Gegenstand der Eisenhüttenkunde. In den vorliegenden acht Vorträgen wird das Eisenhüttenwesen in gemeinfaßlicher Weise erörtert.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Erste Vorlesung. Bedeutung des Eisens für den Volkswohlstand	1
Entwicklung des Eisenhüttenwesens	1
Zweite Vorlesung. Chemische, physikalische und geologische Grundlagen	5
Dritte Vorlesung. Die Eisenerze und die Brennstoffe	22
Vierte Vorlesung. Die Arten des Eisens und ihre Benennung	37
Fünfte Vorlesung. Das Roheisen	43
Hochofenprozeß	48
Sechste Vorlesung. Schmiedbares Eisen. Frischen	62
Luftfrischarbeiten 65 / Erzfrischarbeiten	75
Puddeln 66 / Schmiedbarer Guß	75
Bessemern 70 / Siemens-Prozeß	77
Siebente Vorlesung. Kohlungs-, Desoxydations- und Verbesserungsarbeiten	78
Cementprozeß 78 / Schweißen	89
Bessemer-Flußeisen-Kohlung 80 / Dichten	91
Martinflußeisen 82 / Gußstahldarstellung	93
Rückblick	96
Achte Vorlesung. Formgebung, Härtung, Rost	98
Schluß 114 / Sachverzeichnis	116

Verlag von B. G. Teubner in Leipzig.

Die praktische

Wartung der Dampfkessel und Dampfmaschinen.

Ein Lehrbuch für

Dampfkessel- und Dampfmaschinenwärter

sowie für

Fabriksbeamte ohne technische Vorbildung.

Mit über 350 Figuren.

Von

Ingenieur J. Wilh. Mayer,
k. k. Prof. a. d. Staatsgewerbeschule Wien I., k. k. Commercialrath und k. k. Dampfkessel-Prüfungscommissär.

Ingenieur Edmund Czap,
k. k. Prof. a. d. Staatsgewerbeschule Wien I., k. k. Dampfkessel-Prüfungscommissär S.

Brosch. Mk. 3.20, geschmackvoll geb. Mk. 4.—

Zweite, sehr vermehrte und erweiterte Auflage.

Das kompendiöse Werk, dessen Verfasser eine Reihe von Jahren als Lehrer der Spezialkurse für Kessel- und Dampfmaschinenwärter an der k. k. Staatsgewerbeschule Wien I. wirken, giebt, unterstützt durch eine große Zahl maßstabrichtiger Zeichnungen, in äußerst gemeinverständlicher Weise ein erschöpfendes Bild des gesamten Stoffes, welcher dem Kessel- und Maschinenwärter zu wissen nötig ist.

Namentlich die technisch richtig durchgeführten Zeichnungen stellen das vorliegende Buch weit über alle anderen litterarischen Produkte ähnlicher Richtung.

Sämtliche Neuerungen finden gebührende Berücksichtigung und wurde auf die gesetzlichen Bestimmungen ebenfalls ein Hauptaugenmerk gerichtet.

Das nachstehende Inhaltsverzeichnis mag die Reichhaltigkeit des Stoffes erkennen lassen:

Inhaltsverzeichnis.

Vorbegriffe.
Einfache Kesselsysteme m. äußerer Feuerung.
Wasserrohrkessel.
Kombinierte Kessel mit äußerer Feuerung.
Einfache Kesselsysteme m. innerer Feuerung.
Kombinierte Kesselsysteme mit innerer Feuerung.
Armatur.
Feuerungen.
Rauchverzehrende Feuerungen.
Schornsteine (Kamine).
Wasserreinigung.
Vorwärmer.
Kesseldefekte.
Explosionsursachen und deren Verhütung.
Die Kesselwartung.
Gesetzliche Bestimmungen.
Dampfmaschinen.
Der Kolben.
Kolben mit Feder und Spannung.
Dampfcylinder und Stopfbüchsen.
Balken, Gestelle, Führung, Kurbellager.
Der Kurbelmechanismus.
Das Excenter.
Dampfmaschinen mit einfacher Schiebersteuerung.
Die Expansion des Dampfes.
Umsteuerungen.
Rundschiebersteuerungen (Corliß-Steuerungen).
Ventilsteuerungen.
Allgemeine Aufstellungsart von Maschinen mit Ventilsteuerung.
Kondensation des Dampfes und Kondensatoren.
Woolf'sche und Compound-Maschinen.
Die Globe-Compound-Maschinen.
Der Indikator.
Wartung der Dampfmaschine.
Gesetzliche Bestimmungen.

Aus Natur und Geisteswelt.
Sammlung
wissenschaftlich-gemeinverständlicher Darstellungen aus allen Gebieten des Wissens.
21. Bändchen.

Einführung in die Theorie und den Bau der neueren Wärmekraftmaschinen.

Von

Ingenieur Richard Vater.

Mit 32 Abbildungen.

Leipzig,
Druck und Verlag von B. G. Teubner.
1900.

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechts, vorbehalten.

Vorwort.

Einer Anregung der Verlagsbuchhandlung folgend, unternahm ich den Versuch, die Theorie und den Bau der neueren Wärmekraftmaschinen in allgemeinverständlicher Weise zu behandeln. Da sich jedoch eine ganze Reihe fachtechnischer Ausdrücke dabei nicht gut vermeiden ließ, faßte ich die Erklärung dieser Ausdrücke in einer Einleitung zusammen, wodurch gleichzeitig der Vorteil erreicht ist, daß derjenige, dem diese Ausdrücke nichts Neues mehr sind, das einleitende Kapitel einfach überschlagen kann und somit später im Laufe der Abhandlung nicht mehr durch die Erklärung von Dingen, die ihm längst geläufig sind, aufgehalten und ermüdet wird.

Das vorliegende Bändchen macht wenig Anspruch auf Ursprünglichkeit und soll in keiner Beziehung etwa in Wettbewerb treten mit den bekannten und vorzüglichen Werken von Musil, Lieckfeld, Schöttler und Knoke, welche zum Teil denselben Gegenstand behandeln und welche von mir bei der Abfassung des vorliegenden Bändchens vielfach benutzt wurden. Ebenso habe ich die neuesten Abhandlungen, welche über das in Rede stehende Thema in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, sowie in dem Journal für Gasbeleuchtung und Wasserversorgung erschienen sind in ausgiebiger Weise benutzt und vielfach im Texte darauf verwiesen, so daß der die Litteratur verfolgende Fachmann kaum etwas Neues in dem Büchlein finden dürfte.

Für einen großen Teil der Abbildungen wurden von Verlagsbuchhandlungen und Fabriken fertige Clichés in zuvor-

197566

kommendster Weise zur Verfügung gestellt, wofür den betreffenden Firmen an dieser Stelle besonderer Dank ausgesprochen sei. Ebenso möchte ich auch hier noch einmal meinem verehrten Freunde, Herrn Walzwerkbesitzer Willi Tafel in Nürnberg, für die Mühe, welche er auf die Durchsicht des Manuskripts verwendete, meinen herzlichsten Dank aussprechen.

Aachen, im Juli 1900.

R. Vater.

Inhaltsübersicht.

Seite

Einleitung . . . . . 1—24

Kraft (1); Arbeit (2); Kraftmaschinen (4), Leistung (5); Pferdekraft (6); Nutzpferdekraft (7); indizierte Pferdekraft (8); mechanischer Wirkungsgrad (9); Indikator (9); Diagramm (11); Satz von der Erhaltung der Energie (13); absolute Temperatur (17); Zustandsänderungen, Gesetze von Gay-Lussac und von Mariotte (18); Kreisprozeß (22); thermischer Wirkungsgrad (22); wirtschaftlicher Wirkungsgrad (24).

Erster Abschnitt.

Überlegenheit der neueren Wärmekraftmaschinen über die älteren.

Erstes Kapitel: Die älteren Wärmekraftmaschinen. . . . 25—41

Dampfmaschine (25); neuester Versuch eine bessere Wärmeausnutzung in der Dampfmaschine zu erzielen (36); Heißluftmaschine (39).

Zweites Kapitel: Die neueren Wärmekraftmaschinen . . 41—51

Verbesserte Wärmeausnutzung bei den neueren Wärmekraftmaschinen (42); andere Vorzüge der neueren Wärmekraftmaschinen; Möglichkeit der Verwendung als Kleinkraftmaschinen (46); Betriebskosten der Wärmekraftmaschinen (50).

Zweiter Abschnitt.

Verpuffungs-Gasmaschinen.

Erstes Kapitel: Die Gaskraftmaschinen . . . . . 52—111

Geschichtlicher Rückblick (52); Lenoir-Maschine (53); die atmosphärische Gasmaschine (55); der „neue Otto" (57); die Betriebsmittel: Leuchtgas (59), Kraftgas (65), Hochofengas (68), Acetylengas (70); Wirkungsweise der neueren Gasmaschinen (71); Viertaktwirkung (74), das Ansaugen (78), das Verdichten (79), Zündung und Verpuffung (82); Auspuff (83); Zweitaktmaschinen (84); der Aufbau der Gasmaschine (86); Zündung (93); Regulierung (96); Verschlechterung des Wirkungsgrades bei abnehmender Leistung (102); Zubehörteile zur Gasmaschine (106); das Ingangsetzen der Gasmaschine (109).

Seite

Zweites Kapitel: Verpuffungsmaschinen für Verwendung von Petroleum-Destillaten . . . . . 111—130
Petroleum und Benzin (112); Benzinmaschinen (114); Petroleummaschinen (118); Übelstände der gewöhnlichen Petroleummaschinen (124); Petroleummaschine von Dopp (126). —
Warum baut man heutzutage noch Dampfmaschinen? (128).

Dritter Abschnitt.

Verbrennungskraftmaschine (Dieselmaschine).

Hochgetriebene Verdichtung (132); Arbeitsweise (133); Vorteile der Dieselmaschine (136); Nachteile der Dieselmaschine (140).

Register . . . . . 142—144

Einleitung.

Kraft. Arbeit. Kraftmaschinen. Leistung. Pferdekraft. Nutzpferdekraft. Indizierte Pferdekraft. Mechanischer Wirkungsgrad. Indikator. Diagramm. Satz von der Erhaltung der Energie. Absolute Temperatur. Zustandsänderungen. Gesetze von Gay-Lussac und Mariotte. Kreisprozeß. Thermischer Wirkungsgrad. Wirtschaftlicher Wirkungsgrad.

Kraft. Mit dem Worte Kraft bezeichnet man in der Mechanik allgemein die Ursache für die Bewegungsänderung irgend eines Körpers. Diese Bewegungsänderung kann mannigfacher Natur sein. Entweder der Körper war vorher in Ruhe und wurde in Bewegung versetzt, oder der Körper hatte bereits eine Bewegung und diese Bewegung, seine Geschwindigkeit, wurde vergrößert. Die Bewegungsänderung kann aber auch in der Weise eintreten, daß die Geschwindigkeit eines sich bewegenden Körpers verlangsamt wird, beziehungsweise der Körper kann aus dem Zustande der Bewegung in den Zustand der Ruhe übergeführt werden. Für alle diese Arten von Bewegungsänderungen muß eine Ursache vorhanden sein und diese Ursache bezeichnet man eben mit dem allgemeinen Begriffe Kraft.

Ist ein Pendel, das vorher in Bewegung war, zur Ruhe gekommen, oder ist ein Wagen, der einen Abhang herunterrollte, unten stehen geblieben, so hört man gewöhnlich sagen: „er ist von selber stehen geblieben". Das ist aber streng genommen nicht richtig! Eine Bewegungsänderung ohne Ursache giebt es nicht, auch in den beiden eben angeführten Fällen haben Kräfte auf das Pendel oder auf den Wagen eingewirkt, es waren nur keine äußerlich sichtbaren Kräfte, sondern im ersten Falle die Anziehungskraft der Erde, im zweiten Falle gewisse Bewegungshindernisse, das heißt Reibungswiderstände, die also nach der oben gegebenen Erklärung gleichfalls als Kräfte angesehen werden müssen.

Die Größe der Kräfte wird gemessen durch Gewichte, bekanntlich gilt dabei als Einheit das Kilogramm (kg), das heißt das Gewicht eines Kubikdecimeters (eines Liters) reinen

Wassers, dessen Temperatur 4° C beträgt. Sagt man also, ein Arbeiter habe vermittelst eines Flaschenzuges eine Kraft von 400 kg ausgeübt, so heißt das: dem von dem Arbeiter ausgeübten Zuge würde durch ein an dem anderen Ende des Flaschenzuges angehängtes Gewicht von 400 kg das Gleichgewicht gehalten werden; oder man sagt, der Arbeiter hat an dem Flaschenzuge eine Kraft von 30 kg ausgeübt, das heißt, die durch den Flaschenzug zu hebende Last wäre auch gehoben worden, wenn an dem Punkte, wo der Arbeiter gezogen hat, ein Gewicht von 30 kg befestigt worden wäre. Sagt man: die Kraft, mit welcher der Dampf einen sich nach abwärts bewegenden Dampfkolben vorwärts schiebt, betrage 5000 kg, so heißt das, es würde dieselbe Wirkung erreicht werden, wenn auf die obere Fläche des Kolbens ein Gewicht von 5000 kg gestellt würde u. s. w.

Die Wirkung einer Kraft wird man sich also immer vorstellen können als die Wirkung eines Gewichts. Ein solches Gewicht wirkt ja nun allerdings nur in senkrechter Richtung nach abwärts, aber es ist doch auch leicht einzusehen, daß man etwa vermittelst einer Schnur, die in gehöriger Weise über irgend eine Leitrolle geführt ist, die mannigfachsten Bewegungen und selbst eine gerade entgegengesetzte Bewegung, das heißt eine nach oben gerichtete Kraft vermittelst eines solchen Gewichtes erzeugen kann.

Arbeit. Von diesem Begriffe Kraft ist nun streng zu unterscheiden der Begriff Arbeit! Unter Arbeit versteht man in der Mechanik immer das Produkt aus Kraft und Weg. Es läßt sich mit einer beliebig kleinen Kraft eine beliebig große Arbeit hervorbringen, wenn man nur dafür sorgt, daß diese beliebig kleine Kraft einen entsprechend langen Weg zurücklegt. Ein sehr anschauliches Beispiel dafür bietet wieder der Flaschenzug. Es darf als bekannt vorausgesetzt werden, daß sich vermittelst eines Flaschenzuges, das heißt vermittelst einer gewissen Verbindung von Rollen, sehr große Lasten durch verhältnismäßig kleine Kräfte heben lassen, wenn nur die Übersetzung, das heißt die Anzahl der Rollen genügend groß gewählt wird. So läßt sich z. B., wenn von Reibungs- und sonstigen Verlusten abgesehen wird, unter Aufwendung derselben Kraft vermittelst eines Flaschenzuges von zwei Rollen die doppelt so schwere Last heben, als ohne Anwendung des Flaschenzuges, unter Anwendung eines vierrolligen Flaschenzuges die vierfache

Last, unter Anwendung eines sechsrolligen Flaschenzuges die sechsfache Last u. s. w. Handelt es sich nun darum, mit Hilfe von Flaschenzügen Lasten etwa von der Straße aus auf einen Speicher zu heben, so wird die Arbeit, welche durch das Hinaufziehen der Lasten verrichtet wurde, verschieden groß sein, je nach der Schwere der Lasten. Ist die zweite hinaufgezogene Last doppelt so schwer als die erste, so ist auch doppelt soviel Arbeit verrichtet worden als im ersten Falle, und doch können in beiden Fällen die Arbeiten von demselben Arbeiter unter Aufwendung der gleichen Kraft verrichtet worden sein, nämlich dann, wenn beim Heben der doppelt so schweren Last ein Flaschenzug von einer doppelt so großen Anzahl Rollen verwendet wurde. Der Unterschied ist eben nur der, daß die Hand des Arbeiters beim Emporziehen der doppelt so schweren Last infolge des mehrrolligen Flaschenzuges einen doppelt so langen Weg zurückgelegt hat als beim Heben der ersten, leichteren Last.

Um die Größe einer Arbeit zu messen, bedarf es wieder einer Einheit. Als solche dient das Meterkilogramm (mkg), oder Kilogrammmeter (kgm), das heißt die Größe derjenigen Arbeit, welche erforderlich ist, um eine Last von 1 kg 1 m hoch zu heben. Beträgt also — um auf das oben angeführte Beispiel noch einmal zurückzukommen — die Höhe des Speichers über der Straße 10 m, und die erste zu hebende Last 40 kg, die zweite dagegen 80 kg, so ist im ersten Falle eine Arbeit von 10×40, das heißt 400 mkg verrichtet worden, im zweiten Falle dagegen 10×80, das heißt 800 mkg. Nehmen wir an, daß zum Heben der Last von 40 kg kein Flaschenzug, sondern einfach ein um eine Rolle geschlungenes Seil verwendet wurde, zum Heben der Last von 80 kg dagegen ein zweirolliger Flaschenzug, so hat der Arbeiter im ersten Falle bei jedem Zuge eine Kraft von 40 kg ausüben müssen und seine Hände mußten dabei während des Ausübens dieser Kraft allmählich einen Weg von 10 m zurücklegen. Die von dem Arbeiter verrichtete Arbeit betrug daher $40 \times 10 = 400$ mkg. Im zweiten Falle, beim Heben der 80 kg schweren Last, mußte der Arbeiter wieder bei jedem Zuge eine Kraft von 40 kg ausüben, seine Hände mußten jedoch dabei allmählich infolge des zweirolligen Flaschenzuges einen Weg von 2×10 m zurücklegen, so daß schließlich die verrichtete Arbeit 40×20, das heißt 800 mkg betrug.

Kraftmaschinen. Maschinen, welche Arbeit in größerer Menge liefern, bezeichnet man mit dem allgemeinen Namen Kraftmaschinen. In der Bezeichnung scheint allerdings zunächst ein Widerspruch zu liegen, sie hat aber doch ihre Berechtigung. Eine solche Kraftmaschine liefert freilich zunächst nur Arbeit; wirklich nutzbringend wird diese Arbeit jedoch erst dann sein, wenn sie wiederum in ihre Bestandteile Kraft und Weg zerlegt, und die gewonnene Kraft dazu benutzt wird, um durch sie irgend eine nutzbringende Arbeit, wie das Heben von Lasten, Bewegung eines Werkstückes auf der Drehbank und dergleichen verrichten zu lassen. Mit anderen Worten, gerade so, wie sich die Arbeit in der Kraftmaschine aus Kraft und Weg zusammensetzt, z. B. in der Dampfmaschine aus der auf den Kolben wirkenden Dampfkraft und dem von dem Kolben zurückgelegten Wege, so läßt sich auch andererseits die von der Maschine verrichtete Arbeit in ganz beliebiger Weise in die einzelnen Faktoren Kraft und Weg zerlegen.

Je nachdem nun die Muskelkraft von Menschen oder Tieren, die Kraft des Wassers, des Windes oder die Kraft des durch die Wärme verursachten Ausdehnungsbestrebens gewisser Körper zur Bewegung von Maschinen benutzt wird, spricht man von Muskelkraftmaschinen, Wasserkraftmaschinen, Windkraftmaschinen und Wärmekraftmaschinen. Mit Bezug auf ihre Bedeutung für die Technik ist dabei die letzte Klasse der Kraftmaschinen, die der Wärmekraftmaschinen, unbedingt als die wichtigste anzusehen. Daß eine Anwendung der Muskelkraftmaschinen für die Technik nur in ganz beschränktem Umfange stattfinden kann, liegt auf der Hand. Gegen die Anwendung der Windkraftmaschinen spricht die Unregelmäßigkeit und Unzuverlässigkeit des Betriebsmittels. Die Wasserkraftmaschinen sind ihrer Größe und ihrer Lage nach in zu hohem Maße an die Örtlichkeit gebunden: wo kein Wasser vorhanden ist, kann auch keine Wasserkraftmaschine aufgestellt werden, bei nur geringen Wasserkräften ist die Größe der Wasserkraftmaschinen eine beschränkte. Bei den Wärmekraftmaschinen dagegen liegt die Kraftquelle in Brennstoffen verborgen, die überallhin in jeder beliebigen Menge geschafft werden können. Die Wärmekraftmaschinen können daher an jedem beliebigen Orte in jeder beliebigen Größe zur Verwendung gelangen, sie müssen daher naturgemäß einen hervorragenden Platz unter den Kraftmaschinen einnehmen.

Leistung. Gerade mit Bezug auf die Kraftmaschinen ist nun noch ein weiterer Begriff näher zu erläutern, der Begriff der Leistung. „Zeit ist Geld", sagt ein bekanntes Sprichwort, und wenn dieses Sprichwort mit den oben angestellten Untersuchungen über Kraft und Arbeit in Verbindung gebracht wird, so ergiebt sich leicht, daß es in Wirklichkeit nicht gleichgültig sein kann, in welcher Zeit eine gewisse Arbeit verrichtet wurde. Man kommt dabei auf einen dritten Begriff, der das Produkt aus drei Faktoren darstellt, nämlich aus Kraft, Weg und Zeit, das heißt auf den Begriff der Leistung.

Als Einheit der Leistung pflegt man diejenige anzusehen, welche in einer Sekunde eine Arbeit von 1 mkg zu liefern imstande ist und nennt eine solche Leistung ein Sekundenmeterkilogramm (secmkg). Man versteht also z. B. unter einer Leistung von 20 secmkg diejenige Arbeit, welche aufgewendet werden mußte, um in einer Sekunde entweder 20 kg 1 m hoch oder 1 kg 20 m hoch oder auch 10 kg 2 m hoch u. s. f. zu heben.

Kehren wir noch einmal zurück zu dem früher besprochenen Beispiele von dem Heraufziehen der beiden Lasten auf den Speicher. Wir hatten gesehen, die von dem Arbeiter aufzuwendende Kraft beträgt in beiden Fällen je 40 kg. Die verrichtete Arbeit betrug im ersten Falle 400 mkg, im zweiten Falle 800 mkg. Nehmen wir nun an, der Arbeiter bewege seine Hände in beiden Fällen mit der gleichen Geschwindigkeit und zwar so, daß er zum Heben der einfachen Last von 40 kg auf die Höhe von 10 m 50 Sekunden braucht; dann braucht er im zweiten Falle zum Heben der 80 kg 100 Sekunden. Der Arbeiter hat also im ersten Falle zu einer Arbeit von 400 mkg 50 Sekunden gebraucht, das heißt er leistete in einer Sekunde 8 mkg, seine Leistung war demnach 8 secmkg. Im zweiten Falle brauchte er zu einer Arbeit von 800 mkg 100 Sekunden, in einer Sekunde leistete er demnach wiederum 8 mkg, seine Leistung war wieder 8 secmkg. Mit anderen Worten, die Leistung des Arbeiters war in beiden Fällen dieselbe. Würde ein anderer Arbeiter in jedem der beiden Fälle nur die Hälfte der Zeit brauchen, so wäre die von ihm aufgewendete Kraft, (sowie die verrichtete Arbeit gerade so groß, wie bei dem ersten Arbeiter, während die Leistung die doppelte wäre, da er ja die Last in der Hälfte der Zeit oder,

anders ausgedrückt, in einer Sekunde die Last doppelt so hoch gehoben hätte als der erste Arbeiter.)

Offenbar wird man nun nicht denjenigen Arbeiter für den besseren erklären, welcher allgemein eine größere Arbeit verrichtet hat als ein anderer, sondern denjenigen, welcher eine gewisse Arbeit in möglichst kurzer Zeit verrichtet hat. Ganz dasselbe ist aber auch bei einer Kraftmaschine der Fall. Auf die Kraft, welche eine solche Kraftmaschine ausübt, kommt es nur in den seltensten Fällen an; die im ganzen verrichtete Arbeit kommt überhaupt nicht in Betracht, denn man kann auch mit einer kleinen Kraftmaschine eine sehr große Arbeit verrichten. Wenn man z. B. die Kraftmaschine eine Pumpe betreiben läßt, so wird man auf diese Weise eine große Menge Wasser auf eine bestimmte Höhe heben können, d. h. eine große Arbeit verrichten können, wenn man nur die Kraftmaschine eine genügend lange Zeit arbeiten läßt. Für besser, das heißt für leistungsfähiger wird man jedoch offenbar diejenige Kraftmaschine ansehen müssen, welche imstande ist, eine gewisse Menge Wasser auf eine bestimmte Höhe in möglichst kurzer Zeit zu heben.

Man spricht deshalb bei Kraftmaschinen immer von ihren Leistungen, das heißt man fragt stets, welche Arbeit kann die Maschine in einer bestimmten Zeit verrichten.

Pferdekraft. Für die gewöhnlich vorkommenden Fälle ist dabei jedoch die oben erwähnte Einheit, das Sekundenmeterkilogramm zu klein, das heißt die Zahlen, durch welche man die Leistungen ausdrückt, würden für die Rechnung zu unbequem groß werden, man pflegt daher statt dessen eine größere Einheit anzuwenden, die sogenannte Pferdekraft oder Pferdestärke (PS), welche 75 secmkg beträgt. Sagt man also eine Dampfmaschine hat eine Leistung von 10 PS, so heißt das, die Dampfmaschine ist imstande in einer Sekunde 10×75 kg 1 m hoch oder 10×1 kg 75 m hoch zu heben u. s. f. Man erkennt sofort, daß eine Kraftmaschine unter sonst gleichen Verhältnissen um so mehr leistet, je schneller sie läuft. Liegt z. B. eine Dampfmaschine vor, deren Kolben einen bestimmten Querschnitt und einen bestimmten Hub hat und auf deren Kolben der Dampf immer mit einer ganz bestimmten Kraft drückt, so wird diese Maschine offenbar um so mehr leisten, je schneller

sie läuft, denn die Arbeit, welche der Kolben bei einem Hin- und Hergange verrichtet, wird eben um so öfter in einer Sekunde verrichtet werden, je größer die Anzahl der Hin- und Hergänge in einer Sekunde ist.

Der Begriff Pferdekraft oder Pferdestärke enthält eine gewisse Unklarheit. Man denkt dabei zunächst unwillkürlich an die Kraft, das heißt an die Fähigkeit eines Pferdes, irgend eine schwere Last von der Stelle zu bewegen. Daß es hierauf bei dem Begriffe Pferdekraft nicht im geringsten ankommt, haben die obigen Erörterungen deutlich gezeigt. Nicht auf die Ausübung einer großen Kraft, sondern auf die Menge der sekundlich verrichteten Arbeit kommt es an, wenn man sagt, die Maschine leistet so und so viele Pferdekräfte. Es verdient dabei übrigens hervorgehoben zu werden, daß nur die wenigsten Pferde imstande sind 1 PS, das heißt 75 secmkg wirklich eine einigermaßen längere Zeit hindurch zu leisten. Im allgemeinen kann man sagen, daß die dauernde Leistung eines Pferdes wohl nur in seltenen Fällen etwa 60 secmkg übersteigt. Andererseits ist es aber vielleicht gut, sich darüber klar zu werden, daß selbst ein Mensch, der nicht einmal übermäßig kräftig zu sein braucht, gelegentlich eine PS zu leisten vermag, freilich nur auf eine kurze Zeit. Denken wir uns z. B. den Fall, daß ein Mann, dessen Gewicht mit Kleidung gerade 75 kg beträgt, eine Treppe rasch hinaufläuft. Eine Treppenstufe hat etwa die Höhe von 17 cm; nun ist es für einen gewandten Menschen kein allzu großes Kunststück beim Hinaufstürmen der Treppe gelegentlich sechs Stufen auf einmal zu nehmen. Thut er dies aber, und nehmen wir an, daß die Zeit, die dazu verwendet wurde, gerade eine Sekunde dauerte, so hat der Betreffende in einer Sekunde sein eigenes Gewicht (75 kg) 102 cm hoch gehoben, mit anderen Worten, er hat eine Sekunde lang sogar noch etwas mehr als eine PS geleistet.

Nutzpferdekraft. Es sind nun noch zwei Ausdrücke zu erläutern, welche in der Technik gerade bei Kraftmaschinen sehr viel angewendet werden: die Ausdrücke effektive oder Nutzpferdekraft und indizierte Pferdekraft. Unter effektive oder Nutzpferdekraft versteht man, wie das in dem Worte selbst zum Ausdrucke kommt, diejenige Leistung, welche eine Kraftmaschine effektiv, das heißt thatsächlich nutzbringend abzugeben

imstande ist. Denken wir uns z. B. eine Dampfmaschine, deren sehr breites Schwungrad als Trommel ausgebildet ist, an dieser Trommel sei ein Seil befestigt, welches wir uns für einen Augenblick als gewichtslos vorstellen wollen, und an diesem Seile hänge, etwa tief unten in einem Schachte, ein Gewicht. Hat nun die betreffende Dampfmaschine eine Leistung von 100 Nutzpferdestärken (100 PS_n), so heißt das: vermittelst dieser Dampfmaschine sind wir imstande ein Gewicht von 100×75 kg in jeder Sekunde 1 m hoch zu heben. Diese Größe der Nutzpferdestärken ist es nun, welche für den Gewerbetreibenden einzig und allein von Wichtigkeit ist. Der Gewerbetreibende will wissen, wie viel Kilogramm Dampf, beziehungsweise wie viel Kilogramm Kohle er braucht, um mit seiner Dampfmaschine eine Nutzpferdestärke (1 PS_n) zu erreichen, und er wird im allgemeinen diejenige Dampfmaschine für die beste erklären, welche dafür den geringsten Verbrauch an Dampf, beziehungsweise an Kohlen verlangt.

Indizierte Pferdekraft. Für den Erbauer einer Kraftmaschine kommt aber noch eine zweite Größe in Betracht, nämlich die Anzahl der indizierten Pferdestärken (PS_i), das heißt mit kurzen Worten, diejenige Anzahl von Pferdestärken, welche die Kraftmaschine zu leisten imstande wäre, wenn es möglich wäre, sämtliche Reibungsverluste in der Maschine selbst gänzlich zu vermeiden. Denken wir uns z. B. wieder eine Dampfmaschine. Die Länge des Kolbenhubes, das heißt die Länge des Weges, welchen der Kolben bei jedem Hin- und bei jedem Hergange zurücklegt, betrage 0,5 m, der Kolben lege also bei jedem Hin- und Hergange (bei jeder Umdrehung der Maschine) einen Weg von 1 m zurück. Nehmen wir ferner an, der Dampf drücke auf den Kolben während des ganzen Hubes durchschnittlich mit einer Kraft von 3000 kg, so ist die Arbeit, welche der Kolben während eines Hin- und Herganges verrichtet $1 \times 3000 = 3000$ mkg. Nehmen wir an, die Maschine mache 60 Umdrehungen in der Minute, in jeder Sekunde also eine Umdrehung, so wäre die auf den Kolben der Maschine übertragene Leistung $1 \times 3000 = 3000$ secmkg, oder da 75 secmkg nach unserer Erklärung 1 PS sind, $3000 : 75 = 40$ PS. Diese Leistung würde die Maschine demnach auch wieder nutzbringend abgeben können, wenn nicht ein Teil davon in der

Maschine selbst durch unvermeidliche Reibungsverluste verloren ginge. Man nennt sie die indizierte Leistung der Maschine und würde also sagen, diese Maschine hat eine Leistung von 40 indizierten Pferdestärken (40 PS_i).

Mechanischer Wirkungsgrad. Die Anzahl der PS_n, welche eine solche Maschine von 40 PS_i abzugeben imstande ist, kann verschieden sein, je nach der Sorgfalt, welche beim Bau der Maschine verwendet wurde. Bei einigermaßen guter Ausführung dürfte die Anzahl der PS_n etwa 34 betragen, und man nennt nun das Verhältnis $PS_n : PS_i = \eta_m$ den mechanischen Wirkungsgrad der Maschine, der also in diesem Falle $\eta_m = 34 : 40 = 0{,}85$ betragen würde, das heißt 85 % der von dem Dampfe wirklich verrichteten Arbeit kann die Maschine nutzbringend abgeben, während 15 % durch Reibung in der Maschine selbst verloren gehen.

Von diesem mechanischen Wirkungsgrade ist zu unterscheiden der sogenannte thermische Wirkungsgrad einer Kraftmaschine, welcher weiter unten erläutert werden soll.

Indikator. Da gerade der Ausdruck indizierte Pferdestärke für die folgenden Untersuchungen von besonderer Bedeutung ist, dürfte es angebracht sein eine Erklärung dafür zu geben, warum man diese Zahl indizierte Pferdestärken nennt. Indizieren kommt von dem lateinischen Worte indicare, anzeigen, und der schon von Watt erfundene Apparat, welcher dazu dient die Anzahl der indizierten PS zu messen, heißt der Indikator, seine Einrichtung wird durch die Skizze Abb. 1 (auf folgender Seite) erläutert.

Es sei *a* der Cylinder, *b* der Kolben, *c* die Kolbenstange einer Dampfmaschine. An dem äußersten Ende des Dampfcylinders ist ein kleinerer Cylinder *d* befestigt, der mit dem Inneren des Dampfcylinders in Verbindung steht. In diesem kleineren Cylinder bewegt sich ein Kolben, welcher von einer Feder stets nach unten gedrückt wird, und dessen Kolbenstange in einen Schreibstift *e* endigt. An der Kolbenstange des großen Kolbens ist in geeigneter Weise eine Schreibtafel befestigt, welche sich mit der großen Kolbenstange, also auch mit dem großen Kolben hin und her bewegt. Läßt man in den Cylinder Dampf einströmen, so drückt der Dampf auf beide Kolben, die Feder

oberhalb des kleinen Kolbens wird zusammengedrückt und der Schreibstift beschreibt, wenn wir uns den großen Kolben für einen Augenblick festgehalten denken, eine senkrechte Linie pm. Lassen wir den großen Kolben los, so wird er durch den Dampf nach vorwärts getrieben, die Schreibtafel wird nach rechts bewegt, der Schreibstift beschreibt zunächst die Linie mn, welche dem vom Kolben durchlaufenen Wege $m'n'$ entspricht. In diesem Augenblicke möge der Dampf abgesperrt werden, der sich ausdehnende Dampf bewegt den großen Kolben und damit die

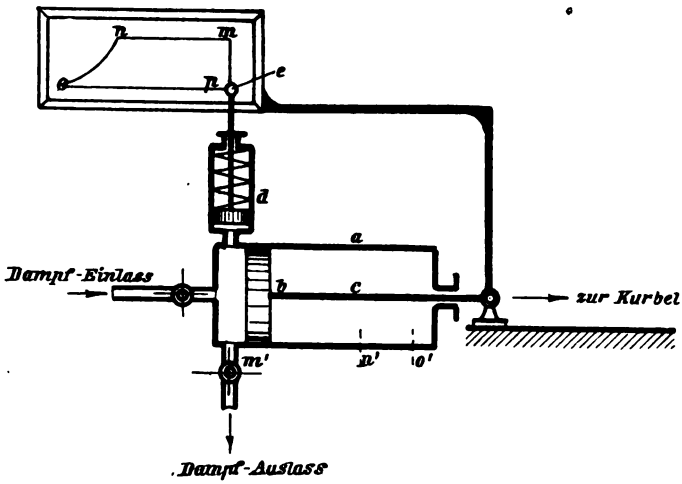


Abb. 1.

Schreibtafel nach rechts, seine Spannung wird geringer, der kleine Kolben sinkt allmählich wieder und es wird auf diese Weise von dem Schreibstifte die Linie no beschrieben, welche dem Wege $n'o'$ des großen Kolbens entspricht. Jetzt wird das Dampfausströmventil geöffnet, der Dampf verliert seine Spannung vollständig, die Spiralfeder drückt den kleinen Kolben herunter und während dann, etwa durch die Kraft des Schwungrades, der große Kolben und damit die ganze Schreibtafel von rechts nach links gedrückt wird, beschreibt der Stift die Linie op, worauf das ganze Spiel von neuem beginnt.

Diagramm. Den Linienzug *pmnop* nennt man nun das Diagramm der Maschine, und es läßt sich aus diesem Diagramm die sogenannte indizierte Leistung der Maschine berechnen. Zu diesem Zwecke wollen wir annehmen, daß durch vorhergehende Versuche festgestellt sei, daß bei einem Dampfdrucke von 1, 2, 3, 4 . . . atm die Feder über dem kleinen Kolben um 1, 2, 3, 4 . . . cm zusammengedrückt werde. Der Druck, den die Außenluft (die Atmosphäre) auf 1 qcm Fläche ausübt, beträgt bekanntlich ungefähr gerade 1 kg. Man mißt deshalb den Dampfdruck nach Atmosphären (atm) und sagt, der Dampf drücke auf eine Fläche mit 1, 2, 3 . . . atm, wenn er auf jeden Quadratcentimeter einer Fläche gerade einen Druck von 1, 2, 3 . . . kg ausübt. Da die der Dampfeinströmung abgewendete Kolbenseite in unserem Falle mit der Außenluft in Verbindung stehend gedacht ist, so wird, wenn z. B. von einem Dampfdrucke von 1 atm gesprochen wird, der Dampf natürlich erst dann auf jeden Quadratcentimeter der Kolbenflächen einen für Krafterzeugung verwendbaren Druck von 1 kg ausüben können, wenn seine Spannung den Druck der Außenluft um 1 atm übersteigt. Man sagt in diesem Falle, der Dampf habe eine Spannung von 1 atm Überdruck. Nehmen wir nun an, der Dampf drücke auf die Kolben mit einer Spannung von 1 atm Überdruck, dann wird der Schreibstift nach unserer obigen Annahme um 1 cm in die Höhe gedrückt und beschreibt eine senkrechte Linie von 1 cm Länge. Die Kraft, die dabei auf den großen Kolben ausgeübt wird, beträgt, wenn der große Kolben 1000 qcm Flächeninhalt hat, $1 \times 1000 = 1000$ kg. Rückt der große Kolben unter dem Einflusse des Dampfdruckes um 1 cm nach rechts, so beschreibt der Stift auf der Tafel eine wagerechte Linie von 1 cm $= 0{,}01$ m Länge, und es hat dabei der große Kolben eine Arbeit verrichtet von $1000 \times 0{,}01 = 10$ mkg. Wir sehen demnach, daß jedem Quadratcentimeter Flächeninhalt des Diagrammes eine Arbeit von 10 mkg entspricht. Die im ganzen von dem Kolben während eines Hin- und Herganges verrichtete Arbeit wird sich also bei unseren Annahmen aus dem Diagramm in sehr einfacher Weise dadurch berechnen lassen, daß man den Flächeninhalt des Diagrammes in Quadratcentimetern feststellt und die erhaltene Zahl mit 10 multipliziert. Nehmen wir an, daß der Flächeninhalt des Diagrammes 180 qcm beträgt, so ist die von dem Kolben während eines Hin- und

Herganges verrichtete Arbeit $180 \times 10 = 1800$ mkg. Macht die Maschine 60 Umdrehungen in der Minute, das heißt wird in jeder Sekunde ein solches Diagramm durchlaufen, so ist die Leistung der Maschine 1800 secmkg oder in PS ausgedrückt $1800 : 75 = 24$ PS_i.

Die heutzutage übliche Einrichtung der Indikatoren ist allerdings etwas anders. Da nämlich bei der vorstehend beschriebenen Einrichtung das Diagramm stets eine sehr unbequem große Länge erhält, so ist durch gewisse Vorrichtungen dafür gesorgt, daß die Maschine das Diagramm in stark verkürzter Form aufzeichnet. Die Art und Weise aber, in welcher aus dem Diagramm die Anzahl der geleisteten PS_i berechnet wird, ist dieselbe geblieben. Es wird stets der Flächeninhalt des Diagrammes festgestellt und dann durch geeignete Rechnungen, in ähnlicher Weise wie oben, ermittelt, wieviel Meterkilogramme durch 1 qcm dieser Fläche dargestellt werden. Diese Zahl der Meterkilogramme mit der Fläche des Diagrammes multipliziert, giebt die durch das Diagramm dargestellte Gesamtarbeit, woraus sich dann, wiederum in ähnlicher Weise wie oben, die Leistung der Maschine in secmkg oder PS_i feststellen läßt.

Wirkt übrigens der Dampf nicht nur auf einer Seite, sondern, wie dies meistens der Fall ist, auf beiden Seiten des Kolbens, so wird auf der entgegengesetzten Seite des Kolbens ein ebensolches Diagramm, nur in umgekehrter Weise, beschrieben, und die Gesamtleistung der Maschine ergiebt sich einfach durch Verdoppelung der oben gefundenen Leistung.

Bei der großen Wichtigkeit der eben angestellten Untersuchungen für die ganze folgende Abhandlung möge hier als Beispiel noch ein weiteres Diagramm kurz erläutert werden. Abb. 2 stellt das Diagramm einer später zu besprechenden Gasmaschine vor. Das Diagramm unterscheidet sich von dem eben erläuterten Dampfdiagramm äußerlich vor allen Dingen dadurch, daß eben infolge der erwähnten Einrichtung zur verkürzten Aufzeichnung des Diagrammes der Indikator das Diagramm in verkehrter Form gegen früher, sozusagen als Spiegelbild aufzeichnet, das heißt die Höhe des Diagrammes im Punkte *a* entspricht dem Druck im Cylinder bei der Kolbenstellung *a*, die Höhe des Diagrammes im Punkte *c* entspricht dem Drucke im Cylinder bei der Kolbenstellung *c* u. s. w. Diese Art der Darstellung ist aber offenbar die bessere, da man, wenn

$\overline{ad}$ die Länge des Kolbenhubes darstellt, durch einfaches Hinaufmessen sofort die Spannung erkennen kann, welche bei einer gegebenen Kolbenstellung hinter dem Kolben herrscht. Die eingezeichneten Pfeile sollen dabei die Art und Weise veranschaulichen, in welcher das Diagramm durchlaufen wird.

Der durch das nebenstehende Diagramm Abb. 2 gekennzeichnete Vorgang im Cylinder einer Gasmaschine ist demnach folgender: Von *a* bis *b* wird der Kolben von der Kraft des Schwungrades vorwärts bewegt und saugt dabei ein Gemisch von Gas und Luft an. Im Punkte *b* wird dieses Gemisch in geeigneter Weise entzündet, worauf die Spannung und damit der auf den Kolben ausgeübte Druck ganz plötzlich sehr stark, nämlich von *b* bis *c* wächst. Von hier an schieben die durch die Verpuffung entstandenen hoch gespannten Gase den Kolben vorwärts bis zum Ende des Kolbenhubes *d*, wobei ihre Spannung allmählich abnimmt. Hierauf wird der Kolben wiederum durch die Kraft des Schwungrades zurückgetrieben und stößt dabei die verbrannten Gase ohne jede Spannung aus dem Cylinder heraus. Die von dem Kolben geleistete Arbeit wird wiederum durch die Fläche des Diagrammes, das heißt durch die Fläche *b c d b* dargestellt.

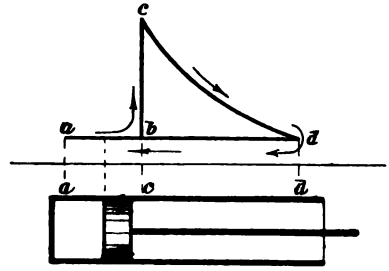


Abb. 2.

Satz von der Erhaltung der Energie. Für das Verständnis der Art und Weise, in welcher eine Kraftwirkung in den Kraftmaschinen zustande kommt, ist es nötig einen berühmten und äußerst wichtigen Satz kennen zu lernen, welcher etwa um die Mitte des 19. Jahrhunderts zuerst von dem deutschen Arzte Robert Mayer in Heilbronn in aller Bestimmtheit ausgesprochen und bewiesen wurde, den Satz, daß Wärme und Arbeit äquivalent, das heißt gleichwertig seien, mit anderen Worten, daß mit einer bestimmten Wärmemenge sich immer eine ganz bestimmte Menge mechanischer Arbeit und umgekehrt, daß sich durch eine gegebene Menge

mechanischer Arbeit stets eine ganz bestimmte Wärmemenge erzeugen lasse.

Für die mechanische Arbeit hatten wir früher das mkg als Einheit gefunden, als Einheit der Wärmemenge bezeichnet man in der Physik diejenige Wärmemenge, welche einem Kilogramm reinen Wassers von 0^0 C zugeführt werden muß, um dessen Temperatur auf 1^0 C zu erhöhen und nennt diese Wärmemenge eine Wärmeeinheit (WE) oder Kalorie (Cal).

Die Zahl nun, welche angiebt, wieviel mkg durch 1 WE gewonnen werden können, sie ist durch neuere Versuche auf 424 festgestellt, nennt man das mechanische Wärmeäquivalent (den mechanischen Wärmegleichwert), den umgekehrten Wert 1 : 424, der also angiebt, wieviel Wärmeeinheiten durch Aufwendung von 1 mkg gewonnen werden können, nennt man das Wärmeäquivalent (oder den Wärmegleichwert) der Arbeit. Der Satz von der Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit besagt also, daß sich mit einer Wärmeeinheit theoretisch stets eine Arbeit von 424 mkg und umgekehrt durch Aufwendung einer Arbeit von 1 mkg immer eine Wärmemenge von 1 : 424 WE erzeugen läßt. Der Satz zeigt übrigens, daß es unrichtig oder wenigstens ungenau ist, wenn man, z. B. bei Kraftmaschinen, von einer Krafterzeugung spricht. Eine Erzeugung von Kraft, beziehungsweise eine Erzeugung von Arbeitsvermögen giebt es nicht. In welcher Weise auch immer Kraft, beziehungsweise Arbeitsvermögen scheinbar erzeugt worden sein mag, stets stellt es sich heraus, daß diese Arbeit oder das erlangte Arbeitsvermögen durch Umwandlung eines anderen Arbeitsvermögens gewonnen wurde. Auf diesem Wege weiter fortschreitend, gelangt man schließlich zu dem ebenfalls von Robert Mayer zuerst in bestimmter Weise ausgesprochenen berühmten Satze von der Erhaltung der Energie. Dieser Satz besagt, daß ein in der Welt bestehendes Arbeitsvermögen (Energie) nie verloren geht, sondern sich höchstens in andere Formen umwandelt, ebenso wie ein im Weltall vorhandener Stoff niemals untergeht, sondern nur seine Gestalt verändert. Der Ballast, den der Luftschiffer auswirft, verschwindet scheinbar in der Luft, aber die Sandkörnchen haben sich nur unendlich fein zerstreut. Könnte man sie wieder zusammentragen, so müßte sich selbstverständlich wieder das Gewicht ergeben, welches der Sand im Sack vor dem Auswerfen gehabt hat. Wenn wir in

einer Schale Alkohol verbrennen, so verschwindet er scheinbar, in Wahrheit aber ist kein Atom der Stoffe, welche er enthalten hat, verloren. Wenn wir mittels geeigneter Gefäße die Gase auffangen, welche infolge der Verbrennung des Alkohols entstehen, so finden wir in diesem Gefäße genau das Gewicht wieder, welches der Alkohol vor seiner Verbrennung gehabt hat.

Ebenso wie von dem Stoff kann nun auch von einem vorhandenen Arbeitsvermögen nichts verloren gehen, dieses Arbeitsvermögen kann immer nur scheinbar verschwinden, weil es sich umwandelt oder in unendlich kleine Teile zerstreut. Um eine Last von 40 kg 10 m hoch zu heben muß, wie wir gefunden hatten, eine Arbeit von 400 mkg verrichtet werden. Diese Arbeit ist nicht verloren, wir können jederzeit die 400 mkg wieder nutzbringend verwenden, zum Beispiel dann, wenn wir ein Seil über eine Rolle laufen lassen und durch das an dem einen Ende des Seiles befestigte und niedersinkende Gewicht von 40 kg ein am anderen Ende des Seiles befestigtes, ebenso schweres Gewicht in die Höhe ziehen lassen. Ein Stein, der von einer gewissen Höhe herabfällt, besitzt, wenn er unten angekommen ist, ein ganz bestimmtes Arbeitsvermögen, denn die Anziehungskraft der Erde mußte, indem sie den Stein anzog, eine ganz bestimmte Arbeit verrichten. Wie mancher Bergsteiger ist schon durch einen verhältnismäßig kleinen Stein, der von bedeutender Höhe herabrollte, erschlagen worden, weil der kleine Stein durch das Herabfallen allmählich ein so großes Arbeitsvermögen erlangt hatte, daß er beim Auftreffen wie eine Flintenkugel wirkte. Wieviel Unheil richten die im Gebirge herniedergehenden Lawinen an, deren Arbeitsvermögen während des Herabrollens allmählich ins Ungemessene gesteigert ist! — Um zwei Körper, die mit einander in Berührung stehen, gegen einander zu bewegen, bedarf es einer gewissen Arbeit, diese Arbeit ist nicht verloren, denn die Körper erwärmen sich, und bekanntlich erzeugen wilde Naturvölker auf diese Weise ihr Feuer. Eine aus einer Flinte abgeschossene Bleikugel besitzt ein Arbeitsvermögen, welches ihr durch das Ausdehnungsbestreben der entzündeten Pulvergase mitgeteilt wurde. Je weiter die Kugel fliegt, um so mehr erlahmt ihre Kraft, ihr Arbeitsvermögen ist scheinbar geringer geworden, aber eben nur scheinbar, es hat sich nur verwandelt. Durch die Reibung haben sich die Luftteilchen, durch welche die Kugel geflogen ist, erwärmt; beim Auftreffen des Geschosses,

zum Beispiel auf eine Mauer, verliert die Kugel ihre Kraft, das heißt das ihr innewohnende Arbeitsvermögen wird abermals in andere Formen umgewandelt: sowohl der Teil der Mauer, auf welchen die Kugel trifft, wie die Kugel selbst werden beim Aufschlagen heiß, die Kugel oft so sehr, daß sie zum Schmelzen kommt. Diese Wärme verliert sich allerdings bald, aber nur dadurch, daß sie wieder auf die umliegenden Luftteilchen, auf den Boden u. s. w. übertragen wird. Wenn sich diese Luft- oder Bodenteilchen wieder abkühlen, so kann auch das nur geschehen, indem sie ihre Wärme auf andere Körper, sei es wieder in Form von Wärme, sei es in irgend einer anderen Form von Arbeitsvermögen übertragen. So zerstreut sich also zwar das Arbeitsvermögen, welches durch das Entzünden des Pulvers im Gewehrlaufe frei geworden ist, in unendlich viele Teile, aber es geht nichts von ihm verloren.

Die Wasserkraft, die wir in den Wasserkraftmaschinen verwenden, ist nichts anderes als umgewandeltes Arbeitsvermögen. Durch die von der Sonne ausgehende Wärme verdunstet und verdampft das auf der Erde befindliche Wasser, es steigt als Wolken in die Höhe, fällt auf die Erde nieder als Regen und bildet hier Quellen, Bäche und Flüsse. Die Steinkohlen, die wir in unseren Dampfkesselanlagen verbrennen, und mit deren Hilfe wir den Dampf für unsere Dampfmaschinen erzeugen, sie sind nichts Anderes als seit Jahrtausenden aufgesparte Sonnenwärme!

Verdichtet man ein in einem Cylinder eingeschlossenes Gas (beziehungsweise Luft), indem man einen dichtschließenden Kolben in den Cylinder hineindrückt, so ist dazu eine gewisse mechanische Arbeit erforderlich. Diese Arbeit verwandelt sich in Wärme, denn das eingeschlossene Gas erwärmt sich, ja diese Wärme kann sogar soweit gesteigert werden, daß brennbare Körper, welche sich außerdem noch in dem Cylinder befinden, entzündet werden. Denken wir uns umgekehrt verdichtetes Gas in einem Cylinder eingeschlossen, der mit einem Kolben verschlossen ist, so wird das Gas das Bestreben haben, den Kolben herauszudrücken. Dieses Heraustreiben des Kolbens erfordert aber Arbeit, und diese Arbeit kann nur dadurch geleistet werden, daß das verdichtete Gas, während es sich ausdehnt, Wärme abgiebt, das heißt dadurch, daß die Temperatur während des Ausdehnungsvorganges abnimmt. Auch wenn ein solches verdichtetes Gas

in die Außenluft ausströmt, muß seine Temperatur abnehmen, denn während des Ausströmens muß es den Druck der Außenluft überwinden, also Arbeit verrichten, und diese Arbeit wird eben gewonnen durch Verbrauch der eigenen Wärme. Würde man dagegen ein solches verdichtetes Gas in einen luftleeren Raum ausströmen lassen, so würde sich die Temperatur des Gases trotz der Ausdehnung nicht im geringsten ändern, da ja in diesem Falle kein Druck überwunden zu werden, das heißt keine Arbeit geleistet zu werden brauchte.

Absolute Temperatur. Aus dem Satze von der Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit folgt schließlich noch die wichtige Thatsache, daß ein Körper dann nicht mehr fähig ist Arbeit abzugeben, wenn er gar keine Wärme mehr besitzt. Dieser Zustand der Wärmelosigkeit tritt nun aber durchaus nicht etwa dann ein, wenn die Temperatur des Körpers 0^0 C beträgt, das heißt wenn seine Temperatur der des schmelzenden Eises gleich ist. Ein solcher Körper besitzt immer noch eine verhältnismäßig große Wärme, ist also immer noch sehr wohl imstande Arbeit abzugeben. Der Zustand der Wärmelosigkeit tritt vielmehr erst dann ein, wenn die Temperatur den sogenannten absoluten Nullpunkt erreicht hat, eine Temperatur, welche 273^0 unter dem Gefrierpunkte des Wassers liegt. Es ist nämlich durch Versuche ermittelt worden, daß ein Gas, dessen Temperatur 0^0 beträgt, sich um den 273. Teil seines Volumens ausdehnt, wenn seine Temperatur um 1^0 steigt, und daß auch bei jeder weiteren Temperaturzunahme eine entsprechende Vermehrung, bei jeder Temperaturabnahme dagegen eine entsprechende Verringerung des Volumens eintritt. Nimmt die Temperatur um 3^0 zu, so beträgt auch die Volumenzunahme $^3/_{273}$, nimmt die Temperatur um 3^0 unter Null ab, so nimmt auch das Volumen des Gases um $^3/_{273}$ ab. Eine einfache Überlegung zeigt also, daß bei einer Temperaturabnahme von 273^0 das Volumen des Gases sich um $^{273}/_{273}$ vermindert haben muß, das heißt also, daß das Volumen in diesem Augenblicke zu Null geworden sein muß. Diesen Zustand nennt man dann den absoluten Nullpunkt und man rechnet in der Wärmetheorie stets mit diesen sogenannten absoluten Temperaturen. Sie werden im folgenden stets mit T bezeichnet werden, zum Unterschiede von den in Celsiusgraden ausgedrückten und mit t

bezeichneten Temperaturen. Sagt man also die absolute Temperatur eines Gases sei $T = 300^0$, so heißt das die Temperatur beträgt in Celsiusgraden $t = 300 - 273 = 27^0$ C.

Zustandsänderungen. Gesetze von Gay-Lussac und Mariotte. Denken wir uns 1 kg irgend eines Gases in einem Cylinder eingeschlossen, in welchem es also ein bestimmtes Volumen einnimmt, dessen Größe wir mit v bezeichnen wollen. Das Gas besitze eine Temperatur T und drücke dabei auf einen in dem Cylinder beweglichen, dicht schließenden Kolben mit einer Kraft, deren Größe für jeden Quadratmeter Kolbenfläche p kg betrage. Dann sagt man, das Gas befinde sich in einem gewissen Zustande, und zwar in einem Zustande, welcher durch die Größe des Volumens, durch die Höhe der Temperatur, sowie durch die Größe des ausgeübten Druckes vollständig bestimmt ist. In unserem Falle würden wir also sagen, das Gas befinde sich in dem Zustande v, p, T. Jede Änderung einer oder mehrerer dieser drei Größen bedingt sofort eine Änderung des früheren Zustandes. Lassen wir zum Beispiel die Temperatur zunehmen, indem wir das Gas in dem Cylinder in irgend einer Weise erwärmen, jedoch so, daß das Volumen sich nicht ändert, das heißt so, daß der in dem Cylinder befindliche Kolben seine frühere Lage beibehält, dann wird die Folge sein, daß die Spannung des Gases sich ändert. Man sagt, das Gas habe eine Zustandsänderung durchgemacht, es ist von dem Zustande v, p, T in den Zustand v, p_1, T_1 übergeführt worden.

Zur Erklärung der verschiedenen Arten von Zustandsänderungen, welche ein Gas durchmachen kann, denken wir uns die eben beschriebene Anordnung noch in der Weise vervollständigt, daß der Raum hinter dem Kolben mit einem Indikator verbunden ist, der in geeigneter, früher besprochener Weise den Druck des Gases bei jeder Kolbenstellung anzeigt.

1. Zustandsänderung bei gleichbleibendem Volumen. Das Gas geht aus dem Zustande p, v, T in den Zustand p_1, v, T_1 über. Diese Zustandsänderung tritt dann ein, wenn der in dem Cylinder befindliche Kolben festgehalten und dabei dem Gase Wärme entzogen oder zugeführt wird. Wird dem Gase Wärme zugeführt, so steigt die Spannung, wird ihm Wärme entzogen, so fällt die Spannung, und zwar wie das von dem französischen Physiker Gay-Lussac zuerst aufgestellte

und nach ihm benannte Gesetz besagt, in der Weise, daß die Spannungen (bei gleichbleibendem Volumen) sich verhalten wie die absoluten Temperaturen. Das heißt wird durch die zugeführte Wärme die absolute Temperatur auf das 2, 3, 4 ... fache gesteigert, so nimmt auch die Spannung des Gases um das 2, 3, 4 ... fache zu und umgekehrt.

Der Indikator beschreibt, wie eine einfache Überlegung zeigt, eine senkrechte gerade Linie.

2. Zustandsänderung bei gleichbleibender Spannung. Das Gas geht von dem Zustande p, v, T in den Zustand p, v_1, T_1 über. Dieser Fall würde dann eintreten, wenn zum Beispiel dem Gase Wärme zugeführt und ihm dabei die Gelegenheit gegeben würde sich auszudehnen, das heißt den Kolben in dem Cylinder vorwärts zu schieben. Auch hier sagt das Gay-Lussacsche Gesetz, daß (bei gleichbleibender Spannung) die Volumina sich verhalten wie die absoluten Temperaturen; das heißt wird dem Gase zum Beispiel Wärme zugeführt, und soll dabei die Spannung gleich bleiben, so kann das nur in der Weise geschehen, daß bei einer Erhöhung der absoluten Temperatur um das 2, 3, 4 ... fache das Volumen des Gases um das 2, 3, 4 ... fache gesteigert wird. Bei Abkühlung des Gases, das heißt bei Wärmeentziehung, findet natürlich der umgekehrte Fall statt.

Der Indikator beschreibt, da die Spannung dieselbe bleibt, der Kolben aber vorwärts schreitet, eine gerade wagerechte Linie.

3. Zustandsänderung bei gleichbleibender Temperatur. Das Gas geht von dem Zustande p, v, T in den Zustand p_1, v_1, T über. Diese Zustandsänderung hat einen ganz bestimmten Namen, man nennt sie die isothermische Zustandsänderung (von den griechischen Worten isos, gleich, und thermos, die Wärme). Wenn dem Gase Wärme zugeführt werden soll, ohne daß sich seine Temperatur erhöht, so ist das offenbar nur dadurch möglich, daß dem Gase Gelegenheit gegeben wird sich in geeigneter Weise auszudehnen. Ist dies aber der Fall, das heißt dehnt sich das Gas, während ihm Wärme zugeführt wird, in der Weise aus, daß seine Temperatur sich nicht ändert, so besagt das von dem französischen Physiker Mariotte ausgesprochene Gesetz, daß in jedem Augenblicke die Volumina des Gases sich umgekehrt verhalten wie die betreffenden Spannungen. Mit anderen Worten, ist das Volumen des

Gases um das 2, 3, 4 ... fache gewachsen, so hat sich die anfängliche Spannung des Gases um das 2, 3, 4 ... fache vermindert.

Eine solche isothermische Zustandsänderung kann natürlich auch in umgekehrter Weise stattfinden. Wir hatten früher gesehen, wenn man Gas, welches in einem Cylinder eingeschlossen ist, etwa durch Zusammendrücken vermittelst eines Kolbens verdichtet, so wird es im allgemeinen erwärmt. Sorgt man jedoch durch entsprechende Wärmeabführung, das heißt durch geeignete Abkühlung des Cylinders, dafür, daß während des Verdichtens die Temperatur des Gases sich nicht ändert, so besagt das Mariottesche Gesetz, daß die ursprüngliche Spannung des Gases um das 2, 3, 4 ... fache steigt, wenn sich das Volumen um das 2, 3, 4 ... fache vermindert.

Der Indikator beschreibt in diesem Falle keine gerade Linie mehr, sondern eine ganz bestimmte Kurve, eine sogenannte gleichseitige Hyperbel, man nennt sie wohl auch geradezu die isothermische Linie oder kurz „Isotherme".

Die Gestalt dieser Kurve erhält man sehr leicht durch folgende Überlegung. Es sei $\overline{01}$, Fig. 3, die Größe des ursprünglichen Volumens, und es bezeichnet $\overline{1a}$ die Größe der dem Gase im Anfangszustande innewohnenden Spannung. Hat sich das ursprüngliche Volumen verdoppelt, das heißt hat es die Größe $\overline{02}$ angenommen, dann ist die Spannung auf die Hälfte gesunken, sie hat also nur noch die Größe $\overline{2b}$. Hat sich das Volumen verdreifacht, das heißt hat es die Größe $\overline{03}$ angenommen, so ist die Spannung auf den dritten Teil der Größe von $\overline{1a}$, das heißt auf die Größe $\overline{3c}$ gesunken u. s. f. Die Verbindung der Punkte $a\ b\ c\ ..$ giebt dann also die Gestalt der isothermischen Kurve und man kann durch einfaches Hinauftragen irgend einer Kolbenstellung sofort abmessen, welches die zugehörige Spannung des Gases in dem betreffenden Augenblicke ist.

4. Zustandsänderung ohne Zuführung oder Abführung von Wärme. Für diesen Fall müssen wir uns das Gas in einem Cylinder eingeschlossen denken, dessen Wandungen gegen Wärme vollständig undurchlässig sind. Das Gas besitzt nun den Anfangszustand v, p, T und es werde, etwa dadurch, daß wir den Kolben aus dem Cylinder herausziehen oder in

den Cylinder stärker hineindrücken, in einen anderen Zustand übergeführt. In diesem Falle werden sich sowohl Volumen, wie Spannung und Temperatur des Gases ändern, das heißt das Gas wird aus dem Zustande v, p, T in den Zustand v_1, p_1, T_1 übergehen. Man nennt diese Zustandsänderung eine adiabatische Zustandsänderung (von dem griechischen Worte adiabaino, nicht hindurchdringen). Auch diese Zustandsänderung geht nach einem ganz bestimmten Gesetze vor sich, welches jedoch weniger einfach ist als die Gesetze von Mariotte und Gay-Lussac.

Der Indikator beschreibt in diesem Falle ebenfalls eine Kurve, welche der isothermischen Kurve ähnlich ist, aber sich viel rascher der wagerechten nähert. Ihre Gestalt ist in Abb. 3 punktiert angedeutet.

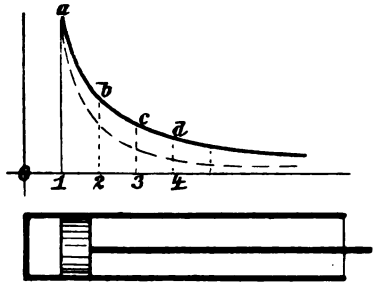


Abb. 3.

Daß die die adiabatische Zustandsänderung darstellende Kurve, oder wie man sich kürzer ausdrückt, daß die „Adiabate" rascher abfallen muß als die Isotherme, zeigt auch eine einfache Betrachtung. Nehmen wir an, es handle sich um eine Zustandsänderung eines Gases in einem Cylinder.) Wir hatten gesehen, daß bei der adiabatischen Zustandsänderung das Gas sich ausdehnt, ohne daß ihm Wärme zugeführt wird. Je größer das Volumen wird, um so mehr sinkt die Spannung, die Kurve fällt ab. Bei der isothermischen Zustandsänderung vergrößert sich ebenfalls das Volumen, gleichzeitig wird dem Gase aber Wärme zugeführt. Nun hatten wir gesehen, daß bei gleichem Volumen der Druck eines Gases um so höher ist, je höher die Temperatur des Gases ist, es muß also bei der Isotherme, bei welcher dem Gase Wärme zugeführt wird, an derselben Stelle des Kolbens, das heißt bei demselben Volumen, der Druck des Gases größer sein, als bei der Adiabate, was unser Diagramm Abb. 3 erkennen läßt.

Für alle Zustandsänderungen gemeinsam gilt endlich noch ein wichtiges Gesetz, welches eine Vereinigung der bei den früheren Zustandsänderungen genannten Gesetze von Mariotte

und von Gay-Lussac darstellt und welches darnach das Mariotte-Gay-Lussacsche Gesetz genannt wird. Dieses Gesetz besagt, daß bei irgend einer Zustandsänderung in jedem Augenblicke das Produkt aus Spannung und Volumen dividiert durch die in diesem Augenblicke herrschende absolute Temperatur, also der Ausdruck $\frac{p \cdot v}{T}$ bei jedem Gase eine ganz bestimmte, und zwar bei diesem Gase stets gleichbleibende Größe darstellt.

Kreisprozeß. Die eben erläuterten Zustandsänderungen lassen sich nun in beliebiger Reihenfolge einem Gase mitteilen. Betrachten wir zum Beispiel noch einmal das auf Seite 13 dargestellte Diagramm und gehen dabei von dem Punkte *b* aus. Wir nehmen an, in diesem Punkte befinde sich das Gas in dem Zustande v, p, T. Durch ganz plötzliche Wärmezuführung, das heißt durch Wärmezuführung bei gleichbleibendem Volumen, gelange es in dem Punkte *c* in den Zustand v, p_1, T_1. Von *c* bis *d* wollen wir annehmen werde Wärme weder zugeführt noch abgeführt, das heißt das Gas mache eine adiabatische Zustandsänderung durch und werde dadurch allmählich in den im Punkte *d* herrschenden Zustand v_2, p, T_2 übergeführt. Von diesem Punkte an sorgen wir in geeigneter Weise dafür, daß dem Gase Wärme entzogen wird und zwar so, daß seine im Punkte *d* herrschende Spannung sich nicht ändert. Sein Volumen nimmt wieder ab und das Gas gelangt schließlich wieder in den Zustand v, p, T, von dem wir ausgegangen waren.

Hat ein Gas eine Reihe solcher Zustandsänderungen durchgemacht und zwar in der Weise, daß es dabei, wie in dem eben besprochenen Beispiele, in seinen Anfangszustand zurückkehrt, so sagt man, das Gas habe einen Kreisprozeß durchlaufen. Solcher Kreisprozesse giebt es natürlich eine große Anzahl, denn es läßt sich durch eine beliebige Reihenfolge der eben genannten Zustandsänderungen immer wieder der Anfangszustand leicht erreichen, es wird stets nur erforderlich sein, dem Gase zunächst einmal eine gewisse Wärmemenge zuzuführen und dann wenigstens einen Teil dieser Wärme wieder abzuführen.

Thermischer Wirkungsgrad. Was ist nun aus dem nicht wieder abgeführten Teile der zugeführten Wärme geworden? Verschwunden kann diese Wärme nicht sein, das widerspräche

dem Satze von der Erhaltung der Energie. Sie ist auch nicht verschwunden, sondern sie ist in Arbeit umgesetzt worden, und wenn wir dabei die Größe der zugeführten Wärmemenge, sowie die Größe der abgeführten Wärmemenge genau kennen, so läßt sich daraus nach dem Satze von der Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit mit Leichtigkeit die Arbeit berechnen, welche bei dem Durchlaufen eines solchen oben erwähnten Kreisprozesses theoretisch geleistet wurde. Die zugeführte Wärme wird sich nun wohl jederzeit genau bestimmen lassen, dagegen wird es in den meisten Fällen unmöglich sein, durch direkte Messung die Größe der abgeführten Wärmemenge festzustellen. Sie ergiebt sich jedoch gewöhnlich auf indirektem Wege einfach dadurch, daß man aus dem Indikatordiagramm die geleistete Arbeit bestimmt, diese Arbeit nach dem Satze von der Gleichwertigkeit von Wärme und Arbeit in Wärmeeinheiten umrechnet und diese so erhaltene Wärmemenge von der im ganzen aufgewendeten, das heißt zugeführten Wärmemenge abzieht.

Das Verhältnis dieser in Arbeit umgewandelten zu der im ganzen aufgewendeten Wärmemenge, also eine Zahl, die stets kleiner als 1 ist, nennt man den thermischen Wirkungsgrad des Kreisprozesses, beziehungsweise den thermischen Wirkungsgrad einer Kraftmaschine, er möge im folgenden mit η_t bezeichnet werden.

Ein Beispiel wird diese Betrachtung erklären. Es liege eine Gasmaschine vor, deren indizierte Leistung 10 PS_i und deren stündlicher Leuchtgasverbrauch für jede PS_i 0,5 cbm beträgt. Nimmt man an, daß 1 cbm Leuchtgas bei vollkommener Verbrennung im Mittel etwa 5000 WE entwickelt, so ist in der Gasmaschine mit 2500 WE eine Stunde lang 1 PS, oder wie man sagt, eine Stundenpferdestärke (Std-PS) geleistet worden. Nun entspricht aber, wie sich aus den früheren Erörterungen ergiebt, einer Std-PS eine Arbeit von $75 \times 60 \times 60 = 270000$ mkg, oder, da immer 424 mkg einer Wärmeeinheit gleichwertig sind, eine Wärmemenge von $270000 : 424 = 637$ WE. Aufgewendet wurden demnach 2500 WE, in Arbeit wurden umgesetzt 637 WE, mithin würde der thermische Wirkungsgrad in diesem Falle $\eta_t = \frac{637}{2500} = 0{,}254$ sein. Mit anderen Worten nur etwa 25 % der zugeführten Wärmemenge werden in Arbeit umgesetzt, während nahezu 75 % unbenutzt aus der Maschine entweichen.

Wirtschaftlicher Wirkungsgrad. Wir hatten aber früher gesehen, daß die Arbeit, welche eine solche Maschine wirklich nutzbringend abzugeben vermag, wiederum nur einen Teil dieser PS_i beträgt, für die Technik, das heißt für die wirtschaftliche Ausnutzung der Maschine, kommt natürlich auch nur dieser Teilbetrag zur Geltung. Nehmen wir in unserem Falle einen mechanischen Wirkungsgrad von $\eta_m = 0{,}8$ an, so beträgt der thatsächliche oder, wie wir ihn nennen wollen, der wirtschaftliche Wirkungsgrad der Maschine

$$\begin{aligned}\eta_w &= \eta_t \cdot \eta_m, \\ &= 0{,}254 \cdot 0{,}8, \\ &= 0{,}2032.\end{aligned}$$

Mit anderen Worten nur etwa 20 % oder $\frac{1}{5}$ der wirklich aufgewendeten Wärmemenge wird in nutzbringend abzugebende Arbeit umgesetzt, während 80 % oder $\frac{4}{5}$ für die Ausnutzung vollständig verloren sind.

Die Größe des wirtschaftlichen Wirkungsgrades η_w ergiebt sich auch noch, wenn wir das eben besprochene Beispiel beibehalten, auf folgende Weise: Braucht die Maschine in der Stunde für jede PS_i 0,5 cbm Gas und ist der mechanische Wirkungsgrad der Maschine $\eta_m = 0{,}8$, so braucht die Maschine also für jede Nutzpferdestärke (PS_n) $0{,}5 : 0{,}8 = 0{,}625$ cbm Gas, und es ergiebt sich somit

$$\eta_w = \frac{637}{0{,}625 \cdot 5000} = \frac{637}{3125}$$
$$= 0{,}2032.$$

Erster Abschnitt.

Überlegenheit der neueren Wärmekraftmaschinen über die älteren.

Erstes Kapitel.

Die älteren Wärmekraftmaschinen.

Dampfmaschinen. Wenn man sich den gewaltigen Aufschwung vor Augen führt, den die Industrie, fast möchte man sagen in der ganzen Welt im Laufe des jüngst dahingeschiedenen Jahrhunderts genommen hat, und wenn man sich darüber klar zu werden versucht, was denn den Anstoß zu diesem in der Geschichte einzig dastehenden Aufblühen gegeben hat, so wird man immer auf eine Erfindung geführt, deren Anfänge schon in die zweite Hälfte des 17. Jahrhunderts zurückreichen, auf die Erfindung der Dampfmaschine. Nicht ein einzelner ist es, dem wir diese Erfindung zu verdanken haben, sondern es bedurfte des Wirkens und rastlosen Schaffens vieler, ehe die erste Wärmekraftmaschine, die Dampfmaschine, durch den Schotten James Watt um die Mitte des 18. Jahrhunderts jene Ausbildung erhielt, die ihr im Laufe der Zeit zu einem überwältigenden Siegeszuge durch alle Länder der Erde verholfen hat; ja man kann wohl ohne Zweifel sagen, daß durch die Erfindung und Ausgestaltung der Dampfmaschine eine Industrie im eigentlichen Sinne des Wortes überhaupt erst geschaffen worden ist. Mit der Dampfmaschine holen wir die Schätze der Erde, die mannigfachen Arten von Erzen und Gesteinen, aus ihren tiefsten Tiefen hervor, die Dampfmaschine muß dazu mitwirken, jene Erze und Gesteine in eine für die Industrie brauchbare Gestalt umzuwandeln, mit ihrer Hilfe endlich geben wir auch heute noch in der Mehrzahl der Fälle den verschiedenen Metallen und Stoffen

die Formen, in denen sie der Mensch zu allen Zwecken des täglichen Lebens verwendet. Die Dampfmaschine allein war es, die in ihrer Gestalt sowohl als Schiffsmaschine wie als Lokomotive Verkehr und Handel in großartigster Weise zum Aufblühen brachte, mit ihrer Hilfe durcheilen wir heute Strecken in ebensoviel Stunden und Tagen als unsere Vorfahren manchmal Tage und Wochen dazu brauchten.

So sieht es fast wie Undankbarkeit aus, wenn der Mensch sich heute von diesem treuen Freunde, der ihm über ein Jahrhundert lang seine Kräfte gewidmet hat, der ihn auf eine solch hohe Stufe der Vollkommenheit hat bringen helfen, allmählich abzuwenden beginnt und sich nach einem neuen, noch besseren Freunde, nach anderen, neueren, besseren Wärmekraftmaschinen umsieht. Aber nicht Undankbarkeit ist es, nicht die Sucht nach etwas Neuem, Andersartigen, nein der Trieb der Selbsterhaltung ist es, der den Menschen dazu zwingt. Jener treue, langjährige Freund, er hat so manche üblen Eigenschaften, die man früher mit seinen vielen guten Eigenschaften mit in Kauf nahm, in Kauf nehmen mußte, weil man eben nichts Besseres hatte, und die man auch heute noch zum größten Teile mit in Kauf nimmt, weil eben die guten Eigenschaften doch noch sehr oft überwiegen. Diese Nachteile der Dampfmaschinen aber sind es, die hier kurz besprochen werden sollen, und wenn es auch heutzutage unter denen, für welche dieses Büchlein bestimmt ist, wohl kaum noch jemanden geben dürfte, der sich darüber im Unklaren ist, in welcher Art und Weise der Dampf in einer Dampfmaschine zur Wirkung gelangt, so dürfte es doch notwendig sein, gerade zum Erkennen jener üblen Eigenschaften, diese Wirkungsweise noch einmal in Kürze zu erläutern.

Ehe der Dampf in der Dampfmaschine zur Wirkung gelangt, das heißt ehe er das ihm innewohnende Arbeitsvermögen in nutzbare Arbeit umwandelt, wird er in geeigneter Weise, zeitlich und örtlich getrennt, in besonderen Gefäßen erzeugt, die man Dampfkessel nennt, und deren Gestalt, im allgemeinen cylinderförmig, doch eine außerordentliche Mannigfaltigkeit besitzen kann. Erhitzen wir Wasser in diesem Gefäße, so wird zunächst die Temperatur des Wassers solange gesteigert, bis sie unter gewöhnlichen Verhältnissen, das heißt bei mittlerem Barometerstande, eine Höhe von 100° C erreicht hat. In diesem Augenblicke beginnt die Dampfbildung, das heißt das Wasser

beginnt von der flüssigen in die luftförmige Form überzugehen, oder wie man sagt, das Wasser geht von dem flüssigen in den dampfförmigen Aggregatzustand über.

Nehmen wir an, der Dampfkessel sei ein geschlossenes Gefäß, welches zur Hälfte mit Wasser gefüllt ist; wir wollen ferner annehmen, es seien an geeigneten Stellen Thermometer angebracht, auf welchen wir die jeweilig herrschenden Temperaturen sowohl innerhalb als außerhalb des eigentlichen Wasserraumes ablesen können. In dem Augenblicke, in welchem die Dampfbildung beginnt, zeigt das im Wasser befindliche Thermometer 100°. Führen wir noch weiter Wärme zu, so bemerken wir zunächst keine Steigerung der Temperatur. Das muß auffallen, denn nach dem Satze von der Erhaltung der Energie kann die zugeführte Wärme nicht verloren gehen. Sie ist auch nicht verloren gegangen, sondern sie wurde zu einer Arbeitsleistung verwendet, nämlich zu der Arbeit, welche notwendig ist, um das Wasser von 100° in Dampf von 100° überzuführen. Hierzu ist eine ganz beträchtliche Arbeit, das heißt eine ganz beträchtliche Wärmemenge erforderlich, welche mehr als das fünffache derjenigen Wärmemenge beträgt, welche notwendig ist, um das Wasser von 0° auf eine Temperatur von 100° zu bringen.*) Denken wir uns die Verdampfung in einem offenen Gefäße vorgenommen, so gehört zunächst, wie wir wissen (vgl. S. 14), 1 WE dazu, um 1 kg Wasser von 0° auf 1° zu erwärmen, es gehören also 100 WE dazu, um 1 kg Wasser von 0° auf 100° zu bringen. Um nun aber 1 kg Wasser von 100° vollständig in Dampf von 100° überzuführen, braucht man nicht weniger als 537 WE, mit anderen Worten eine Wärmemenge, welche nach unseren früheren Betrachtungen dazu genügen würde, um eine Arbeit von $537 \times 424 = 227\,688$ mkg zu verrichten. Da sich diese Wärmemenge in gewöhnlicher Art, das heißt vermittelst eines Thermometers nicht nachweisen läßt — das Thermometer würde immer nur 100° zeigen —, so nennt man diese Wärmemenge eine verborgene oder mit einem lateinischen Aus-

*) Daß zu einer solchen Veränderung des Aggregatzustandes wirklich Arbeit notwendig ist, ergiebt sich zumteil schon aus der einfachen Überlegung, daß z. B. 1 l Wasser, unter gewöhnlichem Luftdrucke in Dampf verwandelt, einen Raum von ungefähr 1660 l einnimmt; der Dampf muß sich also Raum schaffen und dazu etwa 1659 l Luft verdrängen, was nur unter Aufwendung von Arbeit möglich ist.

drucke latente Wärme und sagt also: die latente Wärme des Dampfes von 100° betrage 537 WE. Daß diese Wärmemenge (man nennt sie in der Wärmetheorie auch die Verdampfungswärme des Wassers) nicht verschwunden, sondern wirklich nur sozusagen in dem Dampfe verborgen ist, läßt sich leicht beweisen. Würden wir zum Beispiel diesen Dampf von 100° mit kaltem Wasser in Berührung bringen, so würde er sich sofort wieder zu Wasser verdichten, die verborgene oder latente Wärme würde wieder zum Vorschein kommen und würde ihr Vorhandensein dadurch beweisen, daß sie auf das kalte Wasser überginge und dieses Wasser um soviel Wärmeeinheiten erwärmte als zur Erzeugung des Dampfes einschließlich seiner latenten Wärme nötig waren.)

Auf dieser latenten Wärme, das heißt auf diesem großen Wärmeaufspeicherungsvermögen des Dampfes beruht, wie nebenbei bemerkt sei, die Wirkung unserer Dampfheizungen und Dampfkocheinrichtungen. Der in Röhren befindliche Dampf verdichtet sich zu Wasser (man sagt er kondensiert) und giebt dabei an seine Umgebung die ihm innewohnende latente Wärme ab, welche zum Heizen von Wohnräumen, zum Kochen und dergleichen wieder verwendet werden kann.

Kehren wir zurück zu dem Vorgange der Dampferzeugung in dem geschlossenen, halb mit Wasser gefüllten Dampfkessel. Man sagt der Dampf von 100° habe eine Spannung von 1 atm, das heißt in unserem Falle: der Druck, den dieser Dampf auf jeden Quadratcentimeter der Kesselwandung ausübt, ist gerade so groß, wie der auf die Außenwand des Kessels wirkende Druck der Außenluft (Atmosphäre), welcher, wie früher erwähnt, ungefähr gerade 1 kg für den Quadratcentimeter beträgt. Ist der ganze nicht mit Wasser gefüllte Raum des Kessels mit Dampf von 100° erfüllt, so bewirkt die weitere Verdampfung des Wassers, da der Kessel nach außen abgeschlossen ist, eine Spannung des Dampfes: es entsteht Druck. Gleichzeitig bemerken wir an dem Thermometer, daß die Temperatur des Wassers sich über 100° erhebt. Steigt dann z. B. durch fortgesetzte Verdampfung der Druck im Kessel auf eine Höhe, welche doppelt so groß ist als der Druck der Außenluft (man sagt in diesem Falle der Dampf habe eine Spannung von 2 atm absolut oder eine Spannung von 1 atm Überdruck), so steigt die Temperatur des Wassers auf 120°. Wir sehen also, daß das

Wasser, wenn es unter einem Drucke steht, welcher höher ist als der der Außenluft, auf mehr als 100° erhitzt werden muß, um sich in Dampf zu verwandeln. Umgekehrt verdampft das Wasser schon bei Temperaturen unter 100°, wenn ein niedrigerer Druck als der der Außenluft bei gewöhnlichem Barometerstande auf ihm lastet So dürfte es bekannt sein, daß auf hohen Bergen, wo der Druck der Luft geringer ist als in der Ebene, das Wasser schon bei Temperaturen unter 100° zum Sieden kommt und zwar je eher, je höher die Berge sind, ja unter der Glocke einer Luftpumpe kann man sogar bei sehr weit gehender Luftverdünnung eine Schale mit Wasser schon bei gewöhnlicher Zimmertemperatur zum Sieden bringen.

In dem Dampfkessel steigt also, wie wir gesehen hatten, bei fortgesetzter Verdampfung die Dampfspannung und mit ihr die Temperatur des Wassers. Dagegen nimmt nun aber die Verdampfungswärme des Wassers ab, oder mit anderen Worten, Wasser von 120°, 130° u. s. w. ist verhältnismäßig leichter geneigt sich in Dampf zu verwandeln als Wasser von 100°. Die nachfolgende Zusammenstellung giebt in abgerundeten Zahlen die Temperaturen, Spannungen und Verdampfungswärmen von Dampf verschiedener Spannung:

Spannung	1	2	3	4	5	6	atm
Temperatur	100	120	133	143	151	158	Grad
Verdampfungswärme	537	522	513	506	500	495	WE
Gesamtwärme	637	642	646	649	651	653	WE

Die Betrachtung dieser Zusammenstellung lehrt uns unter anderem auch, warum das Bersten eines Dampfkessels so außerordentlich gefährlich ist, ungleich gefährlicher z. B. als das Bersten eines Kessels, welcher mit verdichteter Luft oder mit Preßwasser von derselben Spannung gefüllt ist. Nehmen wir z. B. einen Kessel mit 6 atm Druck an. Wie unsere Zusammenstellung zeigt, besitzt das Wasser bei dieser Spannung eine Temperatur von 158°, also eine Temperatur, bei welcher es unter dem Drucke der gewöhnlichen Außenluft schon längst in Dampf verwandelt wäre. Bekommt nun der Kessel durch das Zerplatzen eines Rohres oder das Reißen einer Platte u. dgl. eine Öffnung nach außen, so entweicht der Dampf, und der Druck im Kessel fällt ganz plötzlich auf die Spannung der Außenluft. Damit verwandelt sich aber auch die ganze in dem Kessel befindliche, auf 158° erhitzte

Wassermenge in Dampf und zwar mit einer solchen Geschwindigkeit, daß der Dampf nicht mehr durch die entstandene Öffnung entweichen kann, sondern sich mit furchtbarer Gewalt Freiheit verschafft, indem er den ganzen Kessel auseinandersprengt.

Zählt man die Angaben der zweiten und dritten wagerechten Spalte in der obenstehenden Zusammenstellung zusammen, so erhält man, da ja einer Temperatur von 100°, 120° u. s. w. eine aufzuwendende Wärmemenge von 100, 120 u. s. w. WE entspricht, diejenige Anzahl Wärmeeinheiten (man nennt sie die Gesamtwärme des Dampfes), welche nötig ist, um 1 kg Wasser von 0° in Dampf von 100°, beziehungsweise 120°, 133° u. s. w. zu verwandeln.

Man erkennt aus der obigen Zusammenstellung leicht, daß diese Zahlen der Gesamtwärme nur sehr langsam und unbedeutend zunehmen, mit anderen Worten, daß man fast mit derselben Wärmemenge entweder Dampf von 1 atm oder auch Dampf von 6 atm Spannung erzeugen kann. Da es aber nun leicht ersichtlich ist, daß ein auf eine bestimmte Fläche, z. B. auf einen Kolben drückender Dampf von höherer Spannung auch eine größere Kraft auszuüben vermag als Dampf von niedrigerer Spannung, oder umgekehrt, daß zur Erzeugung einer bestimmten Kraft der Kolben um so kleiner sein kann, je höher die Dampfspannung ist, welche auf ihn drückt, so erklärt dieser Umstand schon, warum man in neuerer Zeit die Dampfspannungen so hoch nimmt, als es aus Ausführungsrücksichten irgend möglich ist.

Der in dem Dampfkessel erzeugte Dampf wird nun in den Dampfcylinder geleitet und giebt hier seine Wärme, das heißt sein Arbeitsvermögen ab, indem er einen Kolben vor sich her schiebt, dessen hin- und hergehende Bewegung in geeigneter Weise zur Abgabe von Kraft, beziehungsweise Arbeit verwendet wird. Diese Arbeitsabgabe des Dampfes geschieht dabei so, daß der Dampf nur während eines verhältnismäßig kleinen Teiles des Kolbenweges in den Cylinder einströmt, dann wird der Dampfzutritt zum Cylinder abgesperrt (vgl. S. 10), der Dampf dehnt sich aus, seine Spannung und damit seine Temperatur werden allmählich geringer, und diese scheinbar verschwindende Wärme ist es, welche in dem Dampfcylinder in Arbeit umgesetzt wird. Natürlich wird man bestrebt sein, die Ausdehnung des Dampfes möglichst weit zu treiben, das heißt man wird bestrebt sein, möglichst viel der in dem Dampf enthaltenen Wärme in Arbeit umzusetzen. Zu diesem Zwecke kann man einmal den Dampf

seine Spannung soweit erniedrigen lassen, bis sie dem Druck der Außenluft gleich ist, und kann dann diesen Dampf von Außenluftspannung ins Freie entweichen oder, wie man sagt, auspuffen lassen. Man erhält auf diese Weise Maschinen, gewöhnlich Auspuffmaschinen genannt, welche sich durch verhältnismäßige Einfachheit auszeichnen.

Ein anderer Weg ist der, daß man den Dampf sich noch weiter ausdehnen läßt, und ihn dann nicht in die freie Luft, sondern in einen stark gekühlten Raum ausströmen läßt (in den sogenannten Kondensator), wo durch schnelle Verdichtung des Dampfes der Druck noch weit unter den Druck der Außenluft herabgezogen wird (Kondensationsmaschinen). Je stärker der Raum gekühlt ist, entweder durch eingespritztes kaltes Wasser oder durch starke Abkühlung der Wände, um so niedriger wird der Druck, er beträgt zum Beispiel, wenn das eingespritzte Wasser auf etwa 50^0 erwärmt wird, nur noch ungefähr $1/11$ atm. Dadurch ist aber auf der anderen Seite des Kolbens der von dem frischen Dampfe ausgeübte Überdruck um $10/11$ atm vergrößert worden, so daß hieraus ersichtlich ist, daß durch starke Verdichtung (Kondensation) des Dampfes die Wirkung der Dampfmaschine erhöht wird. Das aus dem verdichteten Dampfe entstehende Wasser kann dann wiederum zur Kesselspeisung verwendet werden, wozu es sich wegen seiner ihm immer noch innewohnenden verhältnismäßig hohen Temperatur, sowie auch wegen seiner Reinheit (es ist vollständig frei von Kesselstein bildenden Salzen) besonders gut eignet, und man kann auf diese Weise das Wasser, beziehungsweise den Dampf einen fortwährenden Kreislauf durchmachen lassen.

Bei oberflächlicher Betrachtung sieht es nun so aus, als wenn dieser ganze Vorgang an Vollkommenheit nichts zu wünschen übrig ließe: Das Wasser wird in Dampf verwandelt, der Dampf giebt seine Wärme und damit sein Arbeitsvermögen zum größten Teile an den Kolben der Dampfmaschine ab und der Rest des Arbeitsvermögens gelangt wiederum als Wärme in den Kessel, wo der Kreislauf von neuem beginnt. Sieht man jedoch näher zu, so muß man sehr bald zugeben, daß der ganze Vorgang der Wärmeausnutzung in der Dampfmaschine nicht nur sehr viel, sondern, fast möchte man sagen alles zu wünschen übrig läßt. Sehr bald sieht man ein, daß hier eine jener üblen

Eigenschaften der Dampfmaschine vorliegt, von denen oben gesprochen wurde, und zwar auch gleich die allerschlimmste, denn in Wirklichkeit giebt es keine Wärmekraftmaschine, welche mit dem ihr zur Verfügung stehenden Kapital, mit der Wärme, derartig verschwenderisch umgeht, wie gerade die so hoch entwickelte, Jahrhunderte alte Dampfmaschine.

Eine kleine Rechnung möge diese Behauptung beweisen. Als Mittel zur Erzeugung des Dampfes dient in unseren Dampfmaschinenanlagen in den weitaus meisten Fällen die Steinkohle, deren Verbrennungswärme, das heißt deren Wärmeentwicklung bei vollständiger Verbrennung, im Mittel etwa 7500 WE für jedes Kilogramm Steinkohle beträgt. Mit anderen Worten: Durch vollständige Verbrennung von 1 kg Steinkohle (d. h. einem Würfel von nur etwa 9 cm Seitenkante!) ließe sich, wenn es möglich wäre, die ganze Wärme in Arbeit umsetzen, nach dem Satze von der Erhaltung der Energie eine Arbeit von $424 \times 7500 = 3180000$ mkg verrichten. Sehen wir zu, wie viel von dieser Arbeit in der Dampfmaschine wirklich geleistet wird, und betrachten wir zu diesem Zwecke zwei Gattungen von Dampfmaschinen, nämlich einmal Dampfmaschinen von ganz geringer Leistung, auf deren Ausführung in den meisten Fällen keine allzugroße Sorgfalt verwendet wird, und ferner Dampfmaschinen der größten heutzutage vorkommenden Leistungen, bei deren Entwurf und Herstellung jede nur denkbare Rücksicht auf möglichst große Vollkommenheit genommen wird.

Aus zahlreichen Versuchen ergiebt sich, daß eine solche kleine Dampfmaschine im Mittel etwa 5 kg Kohle in der Stunde für jede Nutzpferdestärke verbraucht. Eine Std-PS („Stundenpferdestärke") entspricht aber, wie wir früher (S. 23) gesehen hatten, einer Leistung von $75 \times 60 \times 60 = 270000$ mkg, beziehungsweise einer in Arbeit und zwar hier in wirklich nutzbringende Arbeit umgewandelten Wärmemenge von $\frac{270000}{424} = 637$ WE. Um diese Arbeit in der Dampfmaschine zu erzeugen, wurden aber 5 kg Kohle verbrannt mit einer Wärmeentwicklung von $5 \times 7500 = 37500$ WE, das heißt es beträgt der wirtschaftliche Wirkungsgrad dieser Klasse von Dampfmaschinen

$$\eta_w = \frac{637}{37500}$$
$$= 0{,}017!$$

Noch nicht einmal 2 % der aufgewendeten Wärmemenge werden wirklich in Arbeit umgesetzt, **etwa 98 % der verbrannten Kohle gehen vollständig für die Wirkung in der Dampfmaschine verloren!**

Etwas günstiger stellt sich ja das Verhältnis bei der zweiten Klasse, bei unseren größten und besten heutigen Dampfmaschinen, aber auch hier ist das Ergebnis der Rechnung ein sehr trauriges. Unsere besten heutigen Dampfmaschinen verbrauchen etwa 0,7 kg Kohle für jede Std-PS_n; führt man nun die Rechnung in derselben Weise durch wie eben geschehen, so ergiebt sich ein wirtschaftlicher Wirkungsgrad

$$\eta_w = 0{,}12,$$

das heißt selbst hier werden nur 12 % der zugeführten Wärme wirklich in nutzbringende Arbeit umgesetzt, während 88 % für die Ausnutzung vollständig verloren sind!

Diese Rechnungen sind auch geeignet zu zeigen, von welch hervorragender Wichtigkeit die Grundsätze der „Mechanischen Wärmetheorie", d. h. die uns bekannten Sätze von dem mechanischen Wärmegleichwert und von der Erhaltung der Energie für die Technik sein mußten. Sie zeigen uns, wie wir eben gesehen hatten, daß unsere besten, mit allen Feinheiten ausgestatteten Dampfmaschinen eine außerordentliche Verschwendung mit unseren Wärmevorräten treiben, sie zeigen, daß wir bei der Ausnutzung dieser Wärmevorräte noch ungeheuer weit von der Vollkommenheit entfernt sind, und sie stacheln uns dadurch an, dieser Vollkommenheit immer kraftvoller zuzustreben. In der That sind auch die allerneusten Wärmekraftmaschinen allein dieser Erkenntnis entsprungen, ihre Erfindung ist eine unmittelbare Folge der Auffindung der Gesetze der mechanischen Wärmetheorie.

Der Grund für die außerordentlich schlechte Wärmeausnutzung in der Dampfmaschine ist ein mehrfacher: Zunächst ist schon die Erzeugung des Dampfes in dem Dampfkessel mit verhältnismäßig großen Wärmeverlusten verbunden; durch unvollständige Verbrennung der Kohlen auf dem Roste, durch die aus dem Schornstein entweichenden Gase, deren Temperatur der Zugerzeugung wegen eine hohe sein muß, durch Wärmestrahlung, sowie endlich dadurch, daß die Wärme der brennenden Kohlen erst durch die Kesselwandungen hindurch auf das Wasser über-

tragen wird, gehen selbst bei den vollkommensten Anlagen 20 % der erzeugten Wärme und mehr für die Ausnutzung in der Dampfmaschine verloren. Weitere Verluste treten ein durch Niederschlagen des Dampfes in den zur Maschine hinführenden Rohrleitungen sowie im Dampfcylinder selbst, aber alle diese Verluste sind verhältnismäßig gering gegenüber den Wärmeverlusten, welche in dem ganzen Grundgedanken der Verwendung des Wasserdampfes zur Krafterzeugung begründet sind. Nehmen wir eine sogenannte Auspuffmaschine an, zu deren Betrieb etwa Dampf von 6 atm Spannung verwendet werde. Der Dampf tritt also mit einer Spannung von 6 atm in den Dampfcylinder ein, verliert hier, wie oben gezeigt wurde, allmählich seine Spannung und damit seine Temperatur und entweicht schließlich als Dampf von 1 atm aus dem Cylinder ins Freie. Dieser Dampf enthält nun aber neben der seiner Temperatur von 100^0 entsprechenden Wärme noch seine gesamte Verdampfungswärme, d. h. diejenige Wärme, welche vorher dazu aufgewendet werden mußte, um das Wasser aus dem flüssigen in den dampfförmigen Aggregatzustand überzuführen, und gerade die Unmöglichkeit diese Verdampfungswärme für die Umwandlung in Arbeit nutzbar zu machen ist es, welche hier eine so außerordentlich schlechte Wärmeausnutzung ergiebt.

Etwas besser ist in dieser Beziehung die auf Seite 31 erwähnte Kondensationsmaschine, jedoch geht auch hier der größte Teil der mit dem Dampfe aus dem Cylinder entweichenden Wärme, also namentlich der weitaus größte Teil der Verdampfungswärme für die Umsetzung in Arbeit unwiederbringlich verloren.

Nun läßt sich allerdings der sogenannte Auspuffdampf, sowie auch das durch Benützung bei der Kondensation erwärmte Wasser zu anderweitigen Zwecken, zum Kochen, Heizen und dergleichen verwenden, dies hat aber mit der Ausnutzung in der Dampfmaschine gar nichts zu thun, für die Ausnutzung in der Dampfmaschine, das heißt für die Umsetzung in Arbeit, ist diese Wärme, wie schon erwähnt, unwiederbringlich verloren.

Mit der schlechten Wärmeausnutzung sind aber die üblen Eigenschaften der Dampfmaschine keineswegs erschöpft. Schon die Betrachtung auf Seite 32 u. 33 zeigte, daß die an und für sich schon schlechte Wärmeausnutzung um so schlechter wird, je geringer die Leistung der Dampfmaschine ist, so daß die Dampfmaschine

als sogenannte Kleinkraftmaschine, das heißt als Maschine für kleine Arbeitsleistungen (1—2 PS) so gut wie gar nicht zu gebrauchen ist. Hierzu kommt noch der Übelstand, daß jede Dampfmaschinenanlage an die Erfüllung lästiger polizeilicher Vorschriften gebunden ist; ein im Betriebe stehender Dampfkessel ist die Quelle einer steten Gefahr für die Nachbarschaft, und schließlich darf auch der Umstand nicht unerwähnt bleiben, daß der ganze Betrieb einer Dampfmaschinenanlage immer mit einer gewissen Umständlichkeit verknüpft ist: die Anheizung des Kessels erfordert eine beträchtliche Zeit, soll also die Maschine stets betriebsbereit sein, so muß der Kessel mitunter lange Zeit hindurch angeheizt stehen bleiben, wobei dann wieder starke Wärmeverluste, das heißt Geldverluste ganz unvermeidlich sind.

Die Frage liegt nahe, warum baut man denn eigentlich heuzutage noch Dampfmaschinen? Die genaue Beantwortung dieser Frage kann allerdings erst später gegeben werden, wenn die einzelnen Eigenschaften der neueren Wärmekraftmaschinen etwas eingehender erörtert sind, trotzdem läßt sich hier schon soviel sagen, daß die Gründe mannigfacher Natur sind. Zunächst nämlich ist es bis jetzt noch nicht gelungen neuere Wärmekraftmaschinen für so beliebig hohe Leistungen ohne Schwierigkeit zu bauen wie Dampfmaschinen. Ferner fehlt den neueren Wärmekraftmaschinen, bis jetzt wenigstens, der hohe Grad der Betriebssicherheit und Anpassungsfähigkeit an alle nur denkbaren Betriebsverhältnisse, welcher gerade die Dampfmaschinen vor allen anderen Kraftmaschinen in so hervorragender Weise auszeichnet. Endlich aber ist der Grund auch ein wirtschaftlicher. Das Betriebsmittel der Dampfmaschine, die Steinkohle, ist eben immer noch ein so billiges, daß die Betriebsmittel der neueren Wärmekraftmaschinen, also namentlich das Leuchtgas, Petroleum und Benzin trotz der erheblich besseren Wärmeausnützung in der Mehrzahl der Fälle den Betrieb viel unwirtschaftlicher, das heißt teuerer gestalten, als dies unter Verwendung der Steinkohle der Fall ist, deren Wärme doch in den Dampfmaschinen, wie oben gezeigt, in so unvollkommener Weise ausgenutzt wird.

Zum Vergleiche denke man etwa an den verschiedenen Nährwert von Speisen. Würde der Preis der Speisen keine Rolle spielen, so wäre es am vorteilhaftesten sich vorzugsweise von Eiern zu ernähren, welche der Magen fast vollständig auf-

nimmt, während z. B. von Gemüsen nur ein kleiner Teil im Magen umgesetzt wird, der weitaus größere Teil dagegen ohne Wirkung durch den Körper hindurchgeht. Gemüse sind aber soviel wohlfeiler, daß es trotz ihrer geringeren Wirksamkeit billiger ist sich von ihnen zu ernähren als von den weit günstiger ausgenutzten Eiern. —

Genauere Vergleiche zwischen den Betriebskosten der einzelnen Wärmekraftmaschinen sollen weiter unten bei der Besprechung der Gasmaschine angestellt werden.

Neuester Versuch eine bessere Wärmeausnutzung in der Dampfmaschine zu erzielen. Es wurde bereits auf Seite 34 erwähnt, daß die beim Dampfmaschinenbetriebe verloren gehende Wärme in der Gestalt von Auspuffdampf oder heißem Kondenswasser bisweilen zu anderweitigen Zwecken, wie Heizen, Kochen und dergleichen Verwendung findet. In allerjüngster Zeit ist nun ein Gedanke aufgetaucht, der sich auch bereits als ausführbar erwiesen hat, nämlich der, jene bedeutende Wärmemenge zur Krafterzeugung zu verwenden.

Die Möglichkeit hierzu ist dadurch geboten, daß es eine Anzahl Flüssigkeiten giebt, welche schon bei weit niedrigeren Temperaturen als das Wasser in Dampfform übergehen und infolgedessen bei Temperaturen, welche denen des Auspuffdampfes oder des heißen Kondenswassers entsprechen, schon Dämpfe von beträchtlichen Spannungen ergeben. Benützt man daher die aus der Dampfmaschine kommende Wärme dazu, die betreffenden Flüssigkeiten in Dampfform überzuführen, so können diese Dämpfe dann gerade so wie der Wasserdampf zur Krafterzeugung verwendet werden in Maschinen, welche in allen ihren Einzelheiten mit den Dampfmaschinen vollständig übereinstimmen.

Wenn nun auch durch eine solche Anordnung natürlich der thermische Wirkungsgrad der Damfmaschine ebenso wenig verbessert wird wie durch Verwendung des Auspuffdampfes zum Kochen, Heizen u. dgl., denn die Ausnutzung der erzeugten Wärme in der Dampfmaschine bleibt ebenso schlecht wie vorher, so läßt sich doch andererseits sagen, daß durch die oben erwähnte Art der Verwendung sonst verlorengehender Wärme zur Krafterzeugung der wirtschaftliche Wirkungsgrad einer Dampfmaschinenanlage nicht unwesentlich verbessert werden kann. In der That ist es zwei Ingenieuren, Behrend und Zimmermann,

gelungen, eine Maschine zu bauen, durch welche nach Versuchen, die Professor Josse im Maschinenlaboratorium der Technischen Hochschule zu Charlottenburg angestellt hat, mit Hilfe von schwefliger Säure bei einer Kondensationsmaschine von 40 PS_i 56 % der indizierten Leistung, also rund 22 PS, ohne Mehraufwand an Dampf hinzugewonnen wurden.*)

Die schweflige Säure (mit dem chemischen Zeichen SO_2) ist eine Flüssigkeit, welche unter dem Drucke der Außenluft schon bei einer Temperatur, die unter dem Gefrierpunkte des Wassers liegt, in den dampfförmigen Zustand übergeht. Erhitzt man nun die schweflige Säure in einem geschlossenen Gefäße in ähnlicher Weise wie Wasser, so besitzen bei den einzelnen Temperaturen die Spannungen der Dämpfe folgenden Überdruck über die Außenluft:

Temperatur	Überdruck über die Außenluft	Temperatur	Überdruck über die Außenluft
10°	1,33 atm	55°	8,70 atm
15°	1,81 „	60°	10,05 „
20°	2,34 „	65°	11,53 „
25°	2,97 „	70°	13,80 „

Die Verwendung dieser Dämpfe von schwefliger Säure (oder einer anderen leicht verdampfenden Flüssigkeit) zur Krafterzeugung in Verbindung mit einer Dampfmaschine kann nun etwa in der Weise geschehen, wie es durch die Skizze, Abb. 4 (auf folgender Seite), erläutert wird. Hat der Wasserdampf seine Arbeit im Cylinder der Dampfmaschine (*a*) verrichtet, so strömt er in ein Gefäß *b*, den sogenannten Oberflächenkondensator über, in welchem er durch Abkühlung zu Wasser von etwa 65 — 70° verdichtet wird, wodurch auch gleichzeitig, wie früher (S. 31) erwähnt, die Spannung in dem Kondensator unter die Spannung der Außenluft herabsinkt. Diese Abkühlung des Wasserdampfes findet nun in der Weise statt, daß das den Kondensator darstellende Gefäß mit Röhren durchsetzt ist, durch welche mit Hilfe einer Pumpe *e* schweflige Säure von niedriger Temperatur (etwa 15°) hindurchgepreßt wird. Während dieses Hindurchströmens erwärmt sich dabei die schweflige Säure auf

*) Josse, Mitteilungen aus dem Maschinenlaboratorium der Königl. Technischen Hochschule zu Charlottenburg, Heft 2.

etwa 65° und man erhält dadurch, wie die obige kleine Tafel zeigt, Dämpfe von über 11 atm Spannung, welche, geradeso wie gewöhnlicher Wasserdampf, in einer zweiten Maschine *c* verwendet werden. Leitet man diese Dämpfe, nachdem sie sich in dem letztgenannten Cylinder arbeitsverrichtend ausgedehnt haben, durch die Rohre eines zweiten Oberflächenkondensators *d*, der ganz genau ebenso gestaltet ist, wie der vorher erwähnte, und dessen Rohre von außen von kaltem Wasser umspült werden, so läßt sich in diesem zweiten Kondensator bei entsprechender Temperatur des Kühlwassers die schweflige Säure wieder etwa bis auf 15° abkühlen, so daß sie mit Hilfe der schon erwähnten Pumpe *e* wieder zur Kühlung des aus dem Cylinder der Dampfmaschine kommenden Wasserdampfes verwendet werden kann.

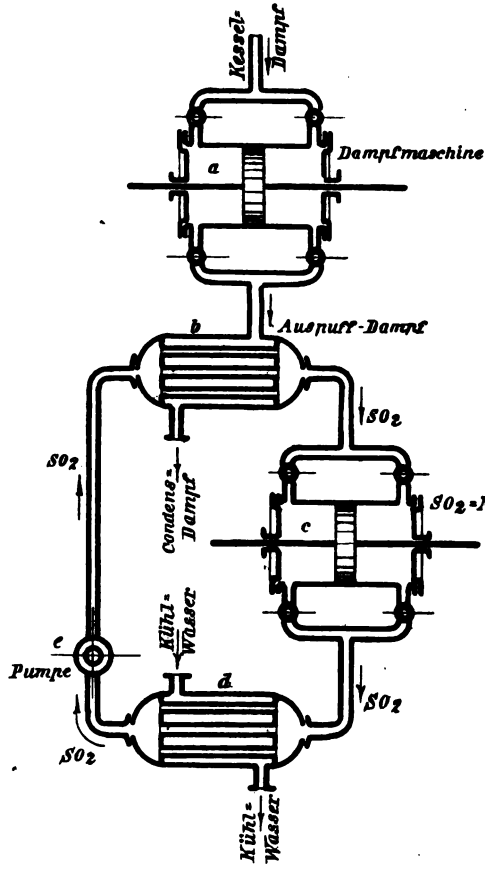


Abb. 4.

Man erkennt, daß auf diese Weise die schweflige Säure einen ununterbrochenen Kreisprozeß durchmacht, so daß mit Ausnahme des Ersatzes der unvermeidlichen Verluste infolge

von Undichtigkeiten u. s. w. der Betrieb der Maschine stets mit derselben Menge schwefliger Säure durchgeführt werden kann.

Die bis jetzt angestellten oben erwähnten Versuche haben gezeigt, daß im Mittel bei je 15 kg Wasserdampf, welche arbeitleistend durch eine Dampfmaschine hindurchgehen, mit Hilfe einer solchen Schwefligsäure-Kraftmaschine 1 PS gewonnen werden kann. Nimmt man also z. B. eine Maschine von 3000 PS an, welche pro Stunde und PS 7,5 kg Dampf, im ganzen also stündlich 22500 kg Dampf verbraucht, so läßt sich, nach den bisherigen Versuchsergebnissen, nur durch Hinzufügung einer solchen im vorhergehenden beschriebenen Schwefligsäure-Kraftmaschine, also ohne neuen Aufwand an Dampf, d. h an Wärme $\frac{22500}{15} = 1500$ PS hinzugewinnen. Mit anderen Worten, es würde dann mit einem Schlage der Dampfverbrauch für eine Std-PS nicht mehr $\frac{22500}{3000} = 7{,}5$, sondern $\frac{22500}{4500} = 5$ kg betragen. Da nun mit Sicherheit anzunehmen ist, daß sich mit der Zeit diese Ergebnisse noch günstiger gestalten werden (Professor Josse nimmt z. B. a. a. O. an, daß es voraussichtlich möglich sein wird, den Verbrauch auf 3,75 kg Dampf pro Std-PS_i zu erniedrigen), so gewinnt diese Verbesserung der Wärmeausnutzung bei Dampfmaschinen eine ganz besondere Bedeutung. Außerdem ist aber noch zu beachten, daß es ja nicht einmal eines Dampfmaschinenbetriebes bedarf, sondern, daß selbst warme Abwässer irgend welcher Art, z. B. bei chemischen Fabriken u. dgl., sofern sie nur in genügender Menge vorhanden sind und Temperaturen von etwa 60—70° besitzen, mit Hilfe von Schwefligsäure-Kraftmaschinen in der oben besprochenen Weise zur Krafterzeugung benutzt werden können.

Heißluftmaschinen. Die schlechte Wärmeausnutzung in der Dampfmaschine war es vor allen Dingen, welche in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts den Schweden Ericson auf den Gedanken brachte, eine Wärmekraftmaschine zu bauen, in welcher nicht der Wasserdampf, sondern einfach Luft als Träger des Arbeitsvermögens verwendet werden sollte. Ericson brachte auch in der That eine solche Maschine zustande und erregte damals damit ein ganz gewaltiges Aufsehen. Die Wirkungsweise dieser, sowie aller späteren sogenannten Heißluftmaschinen

war im wesentlichen folgende: Es wurde Luft in einen Cylinder eingeführt, hier in geeigneter Weise durch Erhitzung auf eine höhere Spannung gebracht, die dazu verwendet wurde, gerade so wie in einer Dampfmaschine einen Kolben vorwärts zu treiben. Dann wurde während des Kolbenrückganges die Luft abgekühlt, ihre Spannung erniedrigte sich, worauf das Spiel von neuem begann.

Der Hauptvorteil aller dieser Maschinen bestand und besteht in dem Fortfall des Dampfkessels. Die Maschine wurde dadurch wesentlich einfacher und es verschwanden alle die früher erwähnten Übelstände, die mit der Verwendung des Wasserdampfes als Kraftträger unvermeidlich verbunden sind, vor allen Dingen also die beträchtlichen Wärmeverluste, die in der Unmöglichkeit der völligen Ausnutzung der Verdampfungswärme des Dampfes begründet sind. Der Erfolg, den Ericson mit seinen ersten Maschinen hatte, veranlaßte ihn zu großartigen Plänen. Er wollte nichts weniger als eine riesige Luftmaschine von 1000 PS bauen und mit ihr einen großen Ozeandampfer treiben. Die Maschine wurde auch in der That gebaut, aber es stellte sich sehr bald heraus, daß erstens die 1000 PS auch nicht annähernd erreicht wurden, dann aber, daß der Betrieb der Maschine eine ganz gewaltige Menge Kohlen verschlang, so daß sie mit einer gleich großen Dampfmaschine nicht in Wettbewerb treten konnte. Auch alle späteren Verbesserungen änderten an dieser Thatsache nichts, die Heißluftmaschine blieb bis auf den heutigen Tag auf eine ganz geringe Leistung beschränkt, aber gerade hierin lag schließlich ein Vorteil gegenüber der Dampfmaschine, deren Verwendung für kleine und sehr kleine Leistungen aus den oben erwähnten Gründen unzweckmäßig ist.

Der Hauptgrund, warum die Heißluftmaschine nur für kleine Leistungen anwendbar ist, liegt darin, daß es unmöglich ist, atmosphärische Luft durch äußere Erwärmung allein auf eine hohe Spannung zu bringen. Dies läßt sich leicht aus der Betrachtung des früher (S. 19) erwähnten Gesetzes von Gay-Lussac erkennen. Nach diesem Gesetze verhalten sich nämlich, wie wir gesehen hatten, bei gleichem Volumen die Spannungen der Luft wie die absoluten Temperaturen. Das heißt, wollen wir eine in einem Cylinder eingeschlossene Luftmenge von Außenluftspannung durch äußerliches Erhitzen auf 2, 3, 4 ... atm Spannung bringen, so müssen wir ihre absolute Temperatur

auf das 2, 3, 4 ... fache erhöhen. Nehmen wir an, die Luft besäße im Anfangszustande eine Temperatur von 0° C, das heißt eine absolute Temperatur von 273°, so müßten wir ihre Temperatur auf 2×273, 3×273 ...., das heißt auf 546, 819 ... Grad absolut oder auf 273, 546 ... Grad Celsius bringen. Für solch hohe Temperaturen besitzen wir aber keine Stoffe, die sich für die Ausführung von Maschinen verwenden ließen, und damit ist die Unmöglichkeit bewiesen, in Heißluftmaschinen hohe Spannungen anzuwenden. Wollte man trotzdem größere Leistungen erzielen, so müßten die Maschinen so gewaltige Abmessungen erhalten, daß dadurch ein etwa errungener Vorteil gegenüber anderen Wärmekraftmaschinen vollständig wieder verloren ginge. Heutzutage sind daher die Heißluftmaschinen fast vollständig verschwunden, sie sind durch die zweckmäßigeren Gas- und Petroleummaschinen verdrängt worden, und es ist bezeichnend, daß Heißluftmaschinen jetzt bisweilen auf Jahrmärkten und Messen als Merkwürdigkeit gezeigt werden.

Zweites Kapitel.

Die neueren Wärmekraftmaschinen.

Der Versuch, die alte Dampfmaschine mit ihren schon früh erkannten Mängeln durch eine neuere Wärmkraftmaschine, durch die Heißluftmaschine, zu verdrängen, war mißlungen. Mit Begeisterung war der Versuch überall aufgenommen worden, aber nur zu bald mußte man sich überzeugen, daß die Dampfmaschine noch einmal einen ihr gefährlichen Nebenbuhler siegreich aus dem Felde geschlagen hatte. Da trat an Stelle der Heißluftmaschine im Jahre 1860 ein anderer Wettbewerber auf in der Gestalt der von dem Franzosen Lenoir erbauten ersten, wirklich leistungsfähigen Gasmaschine. Zwar schien es, als wenn die Dampfmaschine auch hier noch einmal Siegerin bleiben sollte, denn nach den ersten überschwänglichen Lobpreisungen dieser neuen Wärmekraftmaschine war die Stimmung sehr bald in das Gegenteil umgeschlagen. Die Maschine hatte sich, bei mancherlei Vorzügen, im Betriebe viel unzuverlässiger und namentlich kostspieliger gezeigt als die altbewährte Dampfmaschine, und so

wurde die neue Maschine sehr bald ebenso heftig angefeindet als sie vorher gepriesen worden war.

Während aber der Sieg über die Heißluftmaschine ein vollkommener und dauernder gewesen und geblieben war, zeigte es sich sehr bald, daß hier in Gestalt der Gasmaschine für die Dampfmaschine ein Feind aufgetreten war, dessen Erfolge von Jahr zu Jahr zunahmen. Heute schon hat die Gasmaschine mit ihren Unterarten, den Benzin- und Petroleummaschinen, die Dampfmaschine zum Teil verdrängt; ein neuer Feind ist in allerjüngster Zeit durch die von Diesel erbaute und nach ihm benannte neueste Wärmekraftmaschine entstanden, und so scheint es in der That, als wenn alle diese neueren Wärmekraftmaschinen auf eine gänzliche Verdrängung der Jahrhunderte alten Dampfmaschine hinarbeiteten.

Verbesserte Wärmeausnutzung bei den neueren Wärmekraftmaschinen. Ein Hauptvorteil der eben genannten neueren Wärmekraftmaschinen besteht in der wesentlich besseren Ausnutzung der zu Gebote stehenden Wärmequellen. Daß das ein nicht zu unterschätzender Vorteil ist, ergiebt sich aus der einfachen Erwägung, daß der Kohlenvorrat unserer Erde, so gewaltig er auch sein mag, doch endlich einmal zu Ende gehen muß, und gerade mit der durch die Kohlen gebotenen Wärmequelle wurde bisher, wie wir früher gesehen hatten, in der Dampfmaschine in der verschwenderischsten Weise umgegangen. Heute schon nützen selbst kleine Gas- und Petroleummaschinen die ihnen zugeführte Wärmemenge besser aus als unsere besten und größten, mit der äußersten Sorgfalt hergestellten Dampfmaschinen, und, was nicht übersehen werden darf, während die Jahrhunderte alte Dampfmaschine an der Grenze der Vollkommenheit angelangt ist und eine irgendwie nennenswerte Verbesserung in der Ausnutzung der ihr zugeführten Wärme nicht wohl möglich ist, stehen die neueren Wärmekraftmaschinen erst im Beginne ihrer Entwicklung, und es kann mit Sicherheit vorausgesagt werden, daß hier schon die nächsten Jahre immer noch weitere Verbesserungen in der Wärmeausnutzung bringen werden.

In allen neueren Wärmekraftmaschinen wird die Wärme in der Weise in Arbeit umgewandelt, daß das Brennmaterial, ein Gas oder eine vergaste Flüssigkeit, in dem Cylinder selbst zur Verbrennung gebracht wird, und daß die durch diese Ver-

brennung entstandenen heißen, hochgespannten Gase einen in dem Cylinder befindlichen Kolben vorwärts treiben. Schon hieraus ist ersichtlich, daß die Wärmeausnutzung eine wesentlich bessere sein muß als bei der Dampfmaschine: durch die Verwendung eines gasförmigen Brennstoffes läßt sich eine viel vollkommenere Verbrennung erzielen als durch die Verbrennung fester Brennstoffe, denn nur bei gasförmigem Brennmaterial läßt sich die Zuführung einer zur vollkommenen Verbrennung*) nötigen und ausreichenden Luftmenge in jedem Augenblicke genau regeln. Ferner aber fallen hier bei den neueren Wärmekraftmaschinen, wo Wärmeerzeugung und Wärmeausnutzung örtlich und zeitlich vereinigt sind, alle die Verluste fort, welche bei der Dampfmaschine schon allein darin begründet sind, daß die durch Verbrennung der Kohlen erzeugte Wärme durch eine Blechwandung hindurch auf das Wasser, beziehungsweise auf den Wasserdampf übertragen wird, und daß dieser Wasserdampf dann erst als Kraftträger benutzt wird.

Der stündliche Verbrauch an Leuchtgas für die Leistung 1 PS oder, wie man sagt, der Gasverbrauch für 1 Std-PS (Stunden-Pferdestärke) ist bei den Gasmaschinen ebenso verschieden, wie der Kohlenverbrauch bei den Dampfmaschinen. Hier wie dort steigert sich der Verbrauch je kleiner die Leistung ist, für welche die Maschine gebaut ist. Im Durchschnitt kann man annehmen, daß eine kleine Gasmaschine (etwa in der Größe bis zu 10 PS) 0,7 cbm Gas für jede Std-PS_n verbraucht. Bei den größeren Gasmaschinen nimmt dieser Verbrauch, wie gesagt, ab und beträgt bei den größeren und größten Maschinen (es wurden solche schon bis zu einer Leistung von 300 PS mit einem Cylinder ausgeführt) im Mittel etwa 0,45 cbm, nicht selten sogar noch weniger. So berichtet z. B. die Firma Gebrüder Körting, daß als günstigstes Ergebnis bei einer von ihr gebauten 30pferdigen Gasmaschine ein Gasverbrauch von 0,385 cbm für jede Std-PS_n festgestellt wurde.

Um daraus die Wärmeausnutzung in ähnlicher Weise wie früher bei der Dampfmaschine zu berechnen, wollen wir annehmen, daß 1 cbm Gas bei vollständiger Verbrennung im Mittel etwa 5000 WE entwickelt (man sagt das Gas habe einen

*) Vgl. Blochmann, Luft, Wasser, Licht und Wärme. Leipzig, B. G. Teubner. VI. Vortrag.

Heizwert von 5000 WE), so daß einem Leuchtgasverbrauch von 0,7 cbm ein Wärmeverbrauch von $0{,}7 \times 5000 = 3500$ WE entspräche. Wie wir früher (S. 23) gesehen hatten, entspricht aber 1 Std-SP_n einer in nutzbringende Arbeit umgewandelten Wärmemenge von $\frac{75 \cdot 60 \cdot 60}{424} = 637$ WE; um nun diese Arbeit zu leisten, mußten in der Gasmaschine 3500 WE aufgewendet werden, es beträgt also die Wärmeausnutzung oder, wie wir früher gesagt hatten, der wirtschaftliche Wirkungsgrad

$$\eta_w = \frac{637}{3500} = 0{,}18.$$

18% der zugeführten Wärme werden also in Arbeit umgesetzt, während 82% nutzlos verloren gehen. Obgleich das nun auch noch gerade kein glänzendes Ergebnis darstellt, zeigt doch ein Vergleich mit dem früher bei der Dampfmaschine berechneten Werte des wirtschaftlichen Wirkungsgrades, **daß heute schon die kleinsten Gasmaschinen unsere besten und größten Dampfmaschinen, was die Ausnutzung der zugeführten Wärme betrifft, nicht nur erreicht, sondern sogar schon überholt haben.**

Bei den größeren Gasmaschinen wird dieses Verhältnis natürlich noch weit günstiger. Nehmen wir z. B. den oben erwähnten günstigsten Verbrauch von 0,385 cbm für 1 St-PS_n an. Das bei dem in Rede stehenden Versuche angewendete Gas hatte nach Mitteilung der Firma Gebrüder Körting einen Heizwert von 4700 WE, daraus berechnet sich nun in diesem Falle ein wirtschaftlicher Wirkungsgrad

$$\eta_w = \frac{637}{0{,}385 \cdot 4700} = 0{,}35!$$

d. h. mit anderen Worten, die Wärmeausnutzung ist in diesem Falle ungefähr dreimal so gut als bei unseren besten und größten heutigen Dampfmaschinen!

Ähnlich liegen die Verhältnisse bei den Petroleummaschinen. Wie weit bei diesen Maschinen die Wärmeausnutzung schon vorgeschritten ist, zeigt folgendes Beispiel: Eine Petroleummaschine der Firma Gebrüder Dopp in Berlin erzielte bei jenem Betriebe von im ganzen 2308 Arbeitsstunden, während

die Maschine durchschnittlich 10 PS_n leistete, einen durchschnittlichen Verbrauch von 0,198 kg Petroleum für jede Std-PS. Nimmt man an, daß 1 kg Petroleum bei seiner Verbrennung 10500 WE entwickelt, so entspräche dem erwähnten Petroleumverbrauche eine Wärmeausnutzung von

$$\eta_w = \frac{637}{0{,}197 \cdot 10500} = 0{,}3,$$

also ebenfalls mehr wie das Doppelte unserer besten heutigen Dampfmaschinen.

Allerdings darf nicht unerwähnt bleiben, daß diese letzten Zahlen vorläufig noch Ausnahmewerte sind. Petroleummaschinen durchschnittlicher Güte verbrauchen im Betriebe für jede Std.-PS_n im Mittel etwa 0,5 kg Petroleum oder (bei dem oben angegebenen Heizwerte des Petroleums) 5250 WE, was einem wirtschaftlichen Wirkungsgrade von

$$\eta_w = \frac{637}{5205} = 0{,}12$$

entsprechen würde.

Benzinkraftmaschinen verbrauchen je nach Größe der Maschine 0,45 bis 0,35 kg Benzin, dessen Heizwert dem des Petroleums im Mittel gleich gesetzt werden kann. Daraus ergiebt sich für die Std-PS_n ein Wärmeverbrauch von rund 4700 bis 3700 WE, entsprechend einem wirtschaftlichen Wirkungsgrade von

$$\eta_w = 0{,}135 \text{ bis } 0{,}17.$$

Eingehende und genaue Versuche an der Petroleummaschine von Diesel, der sogenannten Dieselmaschine oder Dieselmotor, ergaben bei einer Maschine, welche rund 18 PS_n leistete, einen Petroleumverbrauch von 0,238 kg für 1 Std-PS_n, entsprechend einem wirtschaftlichen Wirkungsgrade von

$$\eta_w = 0{,}255.$$

Zum besseren Vergleiche der eben gefundenen Werte möge folgende kleine Zusammenstellung dienen:

Eine Stunden-Nutzpferdestärke (Std-PS_n) entspricht einer in nutzbare Arbeit umgesetzten Wärmemenge von 637 WE.

Art der Maschinen	Brennstoff Verbr. für 1 Std-PS_n	Heizwert von { 1 kg / 1 cbm Brennstoff	daher Wärmeverbr. W für 1 Std-PS_n	entsprechend $\eta_w = \frac{637}{W}$
Dampfmaschinen	Steinkohle			
kleine, weniger gute Ausführung	5 kg	7500 (kg)	37500	0,017
große, beste Ausführung	0,7 „	„ „	5250	0,120
Gasmaschinen	Leuchtgas			
kleine	0,7 cbm	5000(cbm)	3500	0,180
große	0,45 „	„ „	2250	0,283
höchster erreichter Wert	0,385 „	4700 „	1800	0,353
Petroleummaschinen	Petroleum			
gewöhnliche	0,5 kg	10500 (kg)	5250	0,121
höchster erreichter Wert	0,197 „	„ „	2068	0,318
Dieselmaschine . . .	0,238 „	„ „	2500	0,255
Benzinmaschinen	Benzin			
kleine	0,45 kg	„ „	4725	0,135
große	0,35 „	„ „	3675	0,174

Freilich wird sich nun derjenige, welcher sich eine Wärmekraftmaschine anschaffen will, nicht fragen, welche Maschine nutzt die ihr zugeführte Wärme am besten aus, sondern er wird sich vor allen Dingen fragen, welche Maschine liefert mir die verlangte Arbeit am billigsten; es werden daher für die Anschaffung einer Wärmekraftmaschine weniger die Zahlen des wirtschaftlichen Wirkungsgrades in Betracht kommen, als die Zahlen für die Kosten einer Std-PS_n und es wird sich zeigen, daß selbst diejenigen Maschinen, welche die ihnen zugeführte Wärme verhältnismäßig sehr gut ausnutzen, im Betriebe durchaus nicht etwa die billigsten sind. Vorher jedoch mögen hier im Zusammenhange noch die weiteren Vorzüge der neueren Wärmekraftmaschinen gegenüber den älteren, namentlich gegenüber den Dampfmaschinen besprochen werden.

Andere Vorzüge der neueren Wärmekraftmaschinen. Möglichkeit der Verwendung als Kleinkraftmaschinen. Ein ganz wesentlicher Vorteil aller neueren Wärmekraftmaschinen besteht in dem Fortfallen des Dampfkessels. Daß gerade hierdurch eine Quelle bedeutender Wärmeverluste vermieden wird, wurde bereits früher erwähnt. Zu beachten ist ferner der

Umstand, daß durch das Fortfallen der Dampfkesselanlage die Anschaffungskosten der Wärmekraftmaschine bedeutend geringere werden, erstens durch das Fortfallen des Dampfkessels selber, zweitens aber hauptsächlich deswegen, weil der sonst für den Dampfkessel benötigte, meist nicht unbeträchtliche Raum zu anderweitiger Verwendung frei wird. Schließlich sei auch noch auf die größere Gefahrlosigkeit der Anlage bei Fortfallen des Dampfkessels hingewiesen. Freilich kann auch hier die Möglichkeit von Unfällen infolge von Explosionen, namentlich bei Gas- und Benzinmaschinen, nicht rundweg abgeleugnet werden, indessen müssen es doch schon Versehen allergröbster Art sein, wenn derartige Unfälle auch nur annähernd den Umfang annehmen sollten, wie die trotz aller gesetzlichen Sicherheitsmaßregeln leider immer noch von Zeit zu Zeit vorkommenden Dampfkesselexplosionen mit ihren furchtbaren Verheerungen.

Es war schon früher hervorgehoben worden, daß die Dampfmaschine nur für sehr große Arbeitsleistungen auch heute noch das Feld beherrscht. Der Grund hierfür liegt, wie wir gesehen hatten, vor allen Dingen darin, daß die an und für sich schon schlechte Wärmeausnutzung in der Dampfmaschine immer schlechter, der Betrieb also immer kostspieliger wird, je kleiner die Leistung ist, für welche die Dampfmaschine gebaut ist. Ferner aber muß auf die Verwendung der Dampfmaschine überall da verzichtet werden, wo es sich um Arbeitsleistungen handelt, welche die Maschine immer nur zeitweise mit längeren Betriebspausen liefern soll. Dies ist aber hauptsächlich der Fall bei Maschinen für kleine Arbeitsleistungen, also bei solchen Maschinen, welche als sogenannte Kleinkraftmaschinen Verwendung finden sollen. Man hat daher der Dampfmaschine den Vorwurf gemacht, daß sie die Großindustrie und das Fabrikwesen auf jede Weise fördere, daß sie aber dem kleinen Handwerker ihre Hilfe versage. Einem Kleinhandwerker, einem Schlosser z. B., ist die Anschaffung selbst einer kleinen Dampfmaschine meistens unmöglich. Einmal wird es ihm an dem für den Dampfkessel erforderlichen Platze in den meisten Fällen fehlen, ferner aber würde sich ein solcher Dampfmaschinenbetrieb für ihn als viel zu kostspielig erweisen, da er ja, wenn die Maschine jeden Augenblick bereit sein soll Arbeit zu leisten, etwa zum Betriebe einer Drehbank, einer Hobelmaschine u. s. w., den Dampfkessel ununterbrochen geheizt stehen haben müßte, was neben der Notwendigkeit fortwährender

Bedienung vor allen Dingen nutzlosen Kohlenverbrauch zur Folge haben würde.

Gerade hierin liegt nun der Vorteil und die große Bedeutung der neueren Wärmekraftmaschinen. Um eine Gasmaschine, eine Benzinmaschine u. s. w. in Benutzung zu nehmen, bedarf es nicht der langwierigen Anheizung eines Kessels, es genügen wenige Handgriffe, um die Maschine in Gang zu setzen, und ebenso schnell wie sie in Gang gesetzt ist, ist sie auch wieder zum Stillstande gebracht. Während ihres Stillstandes bedarf aber eine solche Maschine weder einer Aufsicht noch einer Bedienung, der Wärmeverlust während einer Betriebspause ist nahezu gleich Null, da hierbei nur diejenige geringe Wärmemenge in Betracht kommt, welche durch die Abkühlung des Cylinders während der Betriebspause verloren geht.

In dieser Eigenschaft als Kleinkraftmaschinen spielen nun die neueren Wärmekraftmaschinen eine hervorragende Rolle vom volkswirtschaftlichen Standpunkte aus betrachtet. Man hat es von jeher als eine Schattenseite der aufblühenden Industrie betrachtet, daß gerade durch sie der Kleinhandwerker immer mehr zurückgedrängt wird; so sagt z. B. Geheimrat Reuleaux in seiner Schrift „Die Maschine in der Arbeiterfrage": „Geben wir dem Kleinmeister Elementarkraft zu ebenso billigem Preise, wie dem Kapital die große mächtige Dampfmaschine zu Gebote steht, und wir erhalten diese wichtige Gesellschaftsklasse, wir stärken sie, wo sie glücklicherweise noch besteht, wir bringen sie wieder auf, wo sie bereits im Verschwinden ist." Nun läßt sich freilich nicht leugnen, daß auf vielen Gebieten der Wettbewerb des Kleingewerbes mit der Großindustrie einfach aussichtslos ist, so z. B. immer dann, wenn es sich um die Herstellung von Gegenständen handelt, zu deren Bearbeitung entweder Maschinen größter Abmessung unter Anwendung größter Kraftleistung nötig sind, oder wo bei der Herstellung eine weitgehende Arbeitsteilung mit unmittelbarer Aufeinanderfolge der verschiedenen Verrichtungen der einzelnen Arbeiter in demselben Raume notwendig ist. Trotzdem bleiben aber noch genug Fälle übrig, in denen das Kleinhandwerk mit der Großindustrie erfolgreich in Wettbewerb treten könnte, und dies um so leichter, als die Vervollkommnung aller Arten von Arbeitsmaschinen, wie Drehbänke, Hobelmaschinen, Bohrmaschinen u. s. w. immer mehr zugenommen hat und dabei der Preis dieser Maschinen

ein so mäßiger geworden ist, daß selbst Kleinhandwerkern mit geringem Vermögen die Anschaffung derartiger Maschinen ermöglicht ist. Stets wird es sich nur darum handeln, solchen Kleinhandwerkern auch eine billige, zweckmäßige und billig arbeitende Kraftmaschine zur Verfügung zu stellen, und gerade hierzu eignen sich die meisten neueren Wärmekraftmaschinen in hervorragendem Maße. Niedrige Anschaffungskosten, geringe Betriebskosten, stete Betriebsbereitschaft bei bequemer Handhabung, das sind die Hauptbedingungen für eine solche Kleinkraftmaschine, und daß die letzte Bedingung, die bequeme Handhabung, bei den neueren Wärmekraftmaschinen in vorzüglicher Weise erfüllt ist, wird aus der weiter unten folgenden Beschreibung der einzelnen Maschinengattungen ersichtlich werden.

Freilich das Bessere ist des Guten Feind, und so kann nicht verschwiegen werden, daß auch die neueren Wärmekraftmaschinen noch nicht das Ideal einer Kleinkraftmaschine darstellen. Als ein solches Ideal müßte sicherlich der Elektromotor bezeichnet werden, das heißt diejenige Kraftmaschine, in welcher Elektrizität in Arbeit umgewandelt wird, denn seine Bauart und Handhabung übertrifft selbst die vollkommensten neueren Wärmekraftmaschinen noch bei weitem an Einfachheit und Bequemlichkeit. Der Elektromotor hat nur eine sehr üble Eigenschaft, seine Betriebskosten, das heißt die Kosten für den elektrischen Strom sind heute noch außerordentlich hoch, trotzdem die Elektrizitätswerke den Strom für Kraftzwecke schon nahezu zum Selbstkostenpreise abgeben. Die Folge davon ist, daß bis jetzt wenigstens die Gas- und Petroleummaschinen dem Elektromotor meistens noch überlegen sind. Aber auch für die Zukunft braucht man des Elektromotors wegen nicht um die Entwicklung der Gas- und Petroleummaschinen besorgt zu sein. Im Gegenteil! Um die neueren Wärmekraftmaschinen auch für größere elektrische Centralen verwenden zu können, wird man gezwungen sein, diese Maschinen immer weiter zu verbessern und namentlich sie für immer größere Leistungen zu bauen, so daß sie auch auf diesem Gebiete die bis jetzt noch allmächtige Dampfmaschine verdrängen werden.

Ein vielversprechender Anfang dazu ist schon gemacht worden. Heute schon wird in einer ganzen Anzahl elektrischer Licht- und Kraftcentralen für Städte und Ortschaften, für Häuserblocks, sowie für Bahnhöfe die Betriebskraft nur von

Gasmaschinen erzeugt, und es ist bei den durchweg sehr günstigen Betriebsergebnissen aller dieser Anlagen kein Zweifel, daß die Zahl solcher nur mit Gasmaschinen betriebenen elektrischen Centralen sich sehr bald rasch vergrößern wird.

Betriebskosten der Wärmekraftmaschinen. Dazu werden allerdings vor allen Dingen noch wesentliche Verbesserungen in der Ausnutzung der zugeführten Wärme notwendig sein, denn wie schon früher erwähnt wurde, ist heute noch die Dampfmaschine trotz ihrer außerordentlich schlechten Wärmeausnutzung den neueren Wärmekraftmaschinen insofern überlegen, als bei großen Arbeitsleistungen die gesamten Betriebskosten für jede Std-PS bei der Dampfmaschine immer noch geringer sind, als bei den meisten neueren Wärmekraftmaschinen. Eine allgemein gültige Rechnung darüber anzustellen ist unmöglich, da die Preise der zur Verwendung kommenden Brennstoffe, Kohlen, Gas, Petroleum, an den einzelnen Orten zu stark voneinander abweichen. Um jedoch einen ungefähren Überblick darüber zu geben, wie sich die Betriebskosten bei den einzelnen Kraftmaschinen gegeneinander verhalten, seien für die Preise der einzelnen Brennstoffe folgende Durchschnittswerte angenommen: Es betrage der Preis für:

1 cbm	Leuchtgas	12 Pf.
100 kg	Kesselkohle	200 „
1 kg	Petroleum	18 „
1 kg	Benzin	18 „

Berechnet man hiernach die Kosten des verbrauchten Brennstoffes bei den einzelnen Wärmekraftmaschinen, indem man die Verbrauchszahlen für 1 Std-PS_n der Tafel auf Seite 46 entnimmt, so ergiebt sich folgende Zusammenstellung:

Maschine		Verbrauch an Brennstoff für 1 Std-PS_n (s. Tafel S. 46)	1 Std-PS_n erfordert daher Brennstoff im Preise von
Dampfmaschine	klein	5 kg Kohle	10,0 Pf.
	groß	0,7 „ „	1,4 „
Gasmaschine (Leuchtgas)	klein	0,7 cbm Leuchtgas	8,4 „
	groß	0,45 „ „	5,4 „
Petroleummaschine	klein	0,5 kg Petroleum	9,0 „
	groß	0,238 „ „	4,3 „
Benzinmaschine	klein	0,45 kg Benzin	8,1 „
	groß	0,35 „ „	6,3 „

Aber auch aus diesen Zahlen darf man noch keinen endgültigen Schluß auf die größere oder geringere Wirtschaftlichkeit der einzelnen Wärmekraftmaschinen ziehen. Ein solcher wird erst dann möglich sein, wenn man auch die Kosten für Anschaffung und Aufstellung der Kraftmaschine, für den Bau des Maschinenhauses, für Rohrleitungen, Schmiermittel, Verzinsung, Abschreibung u. s. w. berücksichtigt. Um auch hierüber einen Überblick zu erhalten, mögen die folgenden Angaben einer Anzahl ausführlicher Tabellen entnommen werden, welche Körting in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Jahrgang 1899 S. 189 ff. veröffentlicht hat. Unter der Annahme, daß die Maschine jährlich 3000 Stunden im Betriebe ist und mit Berücksichtigung aller der eben genannten Umstände, sowie der vorher angeführten Preise der einzelnen Brennstoffe ergeben sich dort z. B. für eine Maschine von 100 PS_n folgende Gesamtkosten für je 1 Std-PS_n in Pfennigen:

Dampfmaschine	Gasmaschine (Leuchtgas)	Dieselmaschine
5,21 Pf.	6,41 Pf.	7,14 Pf.

Schon für eine Maschine von 25 PS_n werden dagegen die betreffenden Zahlen:

11,01 Pf.	7,51 Pf.	7,85 Pf.,

woraus also die Überlegenheit der Dampfmaschinen bei größeren Arbeitsleistungen, die Überlegenheit der neueren Wärmekraftmaschinen bei kleineren Arbeitsleistungen deutlich ersichtlich ist.

Daß übrigens die Gasmaschine unter Verwendung bestimmter Gasarten selbst bei größeren Arbeitsleistungen der Dampfmaschine wirtschaftlich überlegen sein kann, wird weiter unten gezeigt werden.

Zweiter Abschnitt.

Verpuffungs-Gasmaschinen.

Erstes Kapitel.

Die Gaskraftmaschine.

Geschichtlicher Rückblick. Die Versuche, die Kraft verpuffender Gase zur Arbeitsleistung zu verwenden, sind schon sehr alt, sie reichen bis in das 17. Jahrhundert zurück, und zwar waren es zunächst die durch Verpuffung des Schießpulvers sich bildenden hochgespannten Gase, welche man, freilich ohne Erfolg, zum Betriebe von Maschinen verwenden wollte. Gegen das Ende des 18. Jahrhundert versuchten dann englische Erfinder Kraft dadurch zu erzeugen, daß sie Kohle, Öl und andere Brennstoffe in einer Retorte vergasten, diese Gase mit Luft vermischten und dann in einem mit Kolben versehenen Cylinder zur Verbrennung brachten. Versteht man jedoch unter Gasmaschinen solche Maschinen, deren Betriebsmittel das gewöhnliche Leuchtgas ist, so muß man füglich ihre Erfindung in das Jahr 1801 versetzen und den Franzosen Lebon, den Erfinder des Leuchtgases, auch als den Erfinder der ersten Leuchtgasmaschine betrachten, denn Lebon ließ sich im Jahre 1801 ein Patent auf eine Maschine erteilen, welche mit dem von ihm erfundenen Leuchtgase betrieben werden sollte. Zur wirklichen Verwertung kam dieser Gedanke ebensowenig, wie die späteren Beschreibungen und „Erfindungen" von Gasmaschinen, welche in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts gemacht wurden. Erst dem Franzosen Lenoir gelang es im Jahre 1860 eine wirklich brauchbare, betriebsfähige Gasmaschine herzustellen, und wenn auch die Gedanken, die er in seiner Gasmaschine verwendete, nichts an sich Neues boten, so gebührt ihm doch der

Ruhm, vorher bekannten Gedanken eine brauchbare Gestalt gegeben zu haben, und er muß daher als der eigentliche Erfinder der Gasmaschine bezeichnet werden.

Lenoir-Maschine. Für den Bau seiner Maschine hatte sich Lenoir ganz augenscheinlich die doppeltwirkende Dampfmaschine zum Vorbilde genommen. In einem Cylinder bewegte sich ein Kolben, dessen Kolbenstange, durch eine Stopfbüchse abgedichtet, durch den vorderen Cylinderdeckel hindurchging. Geradeso wie bei der Dampfmaschine wurde dann durch eine Schubstange die Kraft des Kolbens auf eine Kurbel übertragen und so die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens in eine drehende Bewegung umgewandelt. Die Steuerung der Maschine, das heißt das Einlassen des Luft- und Gasgemisches, sowie das Auslassen der verbrauchten Verbrennungsgase geschah geradeso wie bei der Dampfmaschine durch einen Schieber. Auf dem ersten Teile seines Weges, etwa bis zur Mitte, wurde nun der Kolben durch die vorher in dem Schwungrade aufgespeicherte Kraft vorwärts getrieben und saugte auf diesem Wege ein Gemisch von Gas und Luft an. Dieses Gemisch wurde mit Hilfe einer elektrischen Zündvorrichtung zur Entzündung gebracht, wodurch die Spannung hinter dem Kolben ziemlich plötzlich bis auf 5 oder 6 atm stieg. Die sich ausdehnenden Verbrennungsgase trieben nun den Kolben vorwärts, und da der Cylinder außerdem durch einen Wassermantel ziemlich stark gekühlt wurde, sank die Spannung der Gase sehr rasch bis beinahe auf Außenluft-Spannung. Kurz vor Ende des Hubes öffnete sich infolge veränderter Schieberstellung der Ausströmkanal, der Kolben drehte um, und während er die verbrauchten Gase auf der eben betrachteten Seite vor sich herschob und aus dem Cylinder hinaustrieb, fand auf der entgegengesetzten Seite ein neues Ansaugen und eine neue Verpuffung statt.

Das auf Seite 13 dargestellte und dort erläuterte Diagramm ist das theoretische Diagramm einer Lenoir-Maschine, weshalb die damaligen Erörterungen an dieser Stelle noch einmal nachgelesen werden mögen.

Die Maschine von Lenoir, die in allen ihren Teilen vorzüglich durchdacht und vorzüglich ausgeführt war, erregte damals gewaltiges Aufsehen. Ihr hübsches Äußere, ihr ruhiger, gleichmäßiger Gang hatte für den Beschauer etwas Bestechendes,

und da es nicht unterlassen wurde für die Maschine in gehöriger Weise die Reklametrommel zu rühren und der Maschine alle möglichen und unmöglichen guten Eigenschaften nachzusagen, fand sie sehr rasch einen reißenden Absatz. Aber sehr bald trat ein Rückschlag ein. Während man vorher auf gut Glück behauptet hatte, daß die Maschine für 1 Std-PS_n nur $\frac{1}{2}$ cbm Gas verbrauche und infolgedessen binnen kurzer Zeit sämtliche Dampfmaschinen verdrängt haben würde, stellte es sich zum Schrecken der einzelnen Besitzer nur zu bald heraus, daß der Verbrauch an Leuchtgas ein ganz gewaltiger war und nicht $\frac{1}{2}$, sondern 3 cbm und mehr Leuchtgas für 1 Std-PS_n betrug. Außerdem hatte die Maschine noch den besonderen Übelstand, daß sie eine ganz unglaubliche Menge Schmiermaterial verlangte, so daß man sie nachher spöttisch geradezu einen rotierenden Fettklumpen nannte und behauptete, sie brauche allerdings keinen Heizer wie die Dampfmaschine, dafür aber einen besonderen Ölgießer. Auch die Betriebssicherheit war eine ungenügende, denn die Maschine blieb gewöhnlich sofort stehen, sobald die elektrische Zündvorrichtung einmal versagte, was bei nicht genügend sorgfältiger Aufsicht und Bedienung nicht selten eintrat.

Der Pariser Gasanstaltsdirektor Hugon versuchte die Maschine von Lenoir dadurch zu verbessern, daß er Wasser in den Cylinder einspritzte, welches bei der hohen, durch die Verpuffung der Gase in dem Cylinder entstehenden Spannung verdampfte. Durch diese Verdampfung wurde ein großer Teil der entstandenen Wärme gebunden und brauchte nicht durch Kühlwasser abgeführt zu werden, der entstandene Dampf sollte mithelfen den Kolben vorwärts zu treiben und sollte gleichzeitig einen Teil der Schmierung übernehmen. Eine zweite Verbesserung, welche Hugon an der Lenoir-Maschine anbrachte, war der Ersatz der oft versagenden, sehr viel Bedienung erfordernden elektrischen Zündvorrichtung durch eine sogenannte Flammenzündung, das heißt eine Vorrichtung, durch welche sich das in den Cylinder eingesaugte Luft- und Gasgemisch an einer ununterbrochen brennenden Flamme entzündete.

Aber auch diese Verbesserungen hatten keinen wesentlichen Erfolg, auch Hugon gelang es nicht, den Gasverbrauch für 1 Std-PS_n unter 2,5 cbm zu bringen, und so war denn die Folge, daß die Gasmaschine zum größten Teile wieder aus

dem Betriebe verschwand und nur dort beibehalten wurde, wo die Vorteile der Maschine, namentlich das Fehlen des Dampfkessels, die anderen großen Nachteile überwog.

Die atmosphärische Gasmaschine. Da war es die deutsche Firma Otto und Langen, welche im Jahre 1867 gelegentlich der Pariser Weltausstellung einen neuen Abschnitt in der Entwicklung der Gasmaschine einleitete durch die Ausstellung einer ganz neuen, eigenartigen, sogenannten atmosphärischen Gasmaschine. Der Grundgedanke war ein wesentlich anderer als der der Lenoir-Maschine. Ein Kolben, der sich in einem lotrecht stehenden Cylinder bewegte, saugte zunächst auf einem kleinen Teile seines Hubes ein Luft- und Gasgemisch an, welches dann ähnlich wie bei der Maschine von Hugon durch eine Flammenzündung entzündet wurde. Der durch diese Verpuffung des Gasgemisches entstehende hohe Druck wurde nun aber nicht wie bei der Lenoir-Maschine dazu verwendet, Kraft auf den Kolben und damit auf die Kurbel bezw. auf die Schwungradwelle der Maschine zu übertragen, sondern der Druck wurde einzig und allein dazu benutzt, den Kolben nach Art eines Geschosses in dem Cylinder in die Höhe zu schleudern. Dabei wurde durch eine sinnreiche Vorrichtung dafür gesorgt, daß der Kolben mit seiner Kolbenstange während dieses Emporfliegens nicht mit der Schwungradwelle in Verbindung stand. Das Emporfliegen des natürlich dicht an die Cylinderwandungen anschließenden Kolbens hatte in Verbindung mit einer den Cylinder umgebenden Wasserkühlung zur Folge, daß die Spannung unter dem Kolben sehr rasch und stark fiel und zwar derart, daß, wenn der Kolben durch Erlahmen seiner lebendigen Kraft in der obersten Stellung angelangt war, sich unter ihm eine starke Luftverdünnung befand. Der Druck der Außenluft in Verbindung mit dem Eigengewichte des Kolbens war es nun, welcher den Kolben wieder abwärts trieb, und auf diesem Wege wurde durch die schon vorher erwähnte sinnreiche Vorrichtung die Kolbenstange mit der Schwungradwelle und damit mit dem Schwungrade in Verbindung gesetzt. Dasjenige, was also thatsächlich Kraft an die Maschinenwelle abgab, war bei dieser Maschine einzig und allein der Druck der Außenluft oder Atmosphäre in Verbindung mit dem Eigengewicht des Kolbens, daher auch der Name atmosphärische Gasmaschine. Die Verpuffung des

Gasgemisches wurde nur dazu benutzt, den Kolben in die Höhe zu schleudern und dadurch in der erwähnten Weise die zum Betriebe nötige Luftverdünnung unter dem Kolben zu schaffen. Durch das Heruntersinken des Kolbens stieg natürlich die Spannung unter dem Kolben wieder allmählich, und sobald die Außenluftspannung (atm, Abb. 5) erreicht war, öffnete sich das Ausströmventil und die Verbrennungsgase wurden durch weiteres Heruntersinken des Kolbens aus der Maschine ausgetrieben.

Die Vorgänge in der Maschine von Otto und Langen werden am besten durch das nebenstehende Diagramm veranschaulicht (da der Cylinder der Maschine nicht liegend, sondern stehend angeordnet war, muß die Abbildung eigentlich von der linken Seite aus betrachtet werden). Während des Weges $\overline{ab}$ saugt der Kolben Luft- und Gasgemisch an. Im Punkte b tritt die Zündung ein, durch welche der Kolben bis zum Punkte d emporgeschleudert wird. Die durch die Verpuffung entstandene hohe Spannung bc (bc stellt nicht etwa das Emporschleudern des Kolbens dar) sinkt sehr bald unter die Außenluftspannung (atm, Abb. 5), bis sie bei der höchsten Stellung des Kolbens, d, ihren niedrigsten Wert $\overline{md}$ erreicht hat. Dies ist aber natürlich auch gleichzeitig der Überdruck, mit welchem die Außenluft auf die obere Fläche des Kolbens drückt, und man sieht, wie während des Heruntersinkens des Kolbens die Luftverdünnung allmählich wieder verschwindet, der Überdruck der Außenluft also auch nachläßt, bis etwa im Punkte e die Außenluftspannung unter dem Kolben wieder erreicht ist. In diesem Punkte öffnet sich das Ausströmventil, und während des weiteren Niedersinkens des Kolbens, das heißt während des Weges $\overline{ea}$, werden die Verbrennungsgase aus dem Cylinder ausgestoßen.

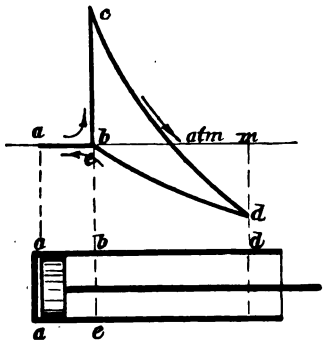


Abb. 5.

Die Maschine von Otto und Langen hatte zwei Übelstände: Da das eigentlich Treibende in der Maschine nicht hochgespannte Gase, sondern nur der verhältnismäßig geringe Druck der Außen-

luft war, so erhielt die Maschine für einigermaßen große Leistungen sehr große Abmessungen, sie wurde daher auch in der That hauptsächlich nur für ganz kleine Leistungen von ½, 1 oder 2 PS gebaut. Der zweite größere Übelstand war der, daß die Maschine ein außerordentlich starkes Geräusch verursachte, herrührend von dem fortwährenden Emporschleudern des Kolbens. Dieses Geräusch war so lästig, daß die Anwendung der Maschine dadurch nicht selten unmöglich wurde, und häufig genug kam es später vor, daß infolge von Beschwerden der Anwohner der Betrieb der Maschine geradezu eingestellt werden mußte. Diese beiden üblen Eigenschaften wurden aber mehr als aufgewogen durch die eine gute Eigenschaft, mit welcher die Maschine alle bis dahin gebauten Gasmaschinen ganz wesentlich übertraf, durch den geringen Gasverbrauch. Während die Lenoir-Maschine, wie wir gesehen hatten, mindestens 3 cbm Gas für 1 Std-PS_n verlangte und alle späteren Verbesserungsversuche im wesentlichen erfolglos geblieben waren, zeigte es sich, daß die neue Gasmaschine von Otto und Langen den für damalige Verhältnisse ganz unerhört niedrigen Gasverbrauch von nur 0,8 cbm für 1 Std-PS_n aufwies, eine Zahl, die erst in allerjüngster Zeit von den besten Gasmaschinen übertroffen wurde.

Dieser ganz außerordentlich geringe Gasverbrauch war aber für den Wert der Maschine entscheidend, und da sich die Maschine, trotz ihrer unbestreitbaren, oben erwähnten Mängel, als ein durchaus vorteilhaftes Betriebsmittel für alle Arten von Kleingewerbe erwies, so fand sie sehr bald einen großen Abnehmerkreis und wurde im Laufe der Jahre zu vielen Tausenden von der Fabrik hergestellt und geliefert.

Der „neue Otto". Während dieser Zeit arbeitete die Firma Otto und Langen, die sich inzwischen in die „Deutzer Gasmotorenfabrik" umgewandelt hatte, unabläßig an der Verbesserung der Maschine. Da sich aber die oben erwähnten Übelstände, namentlich das lästige Geräusch, durchaus nicht beseitigen lassen wollten, warf Otto die ganzen bisherigen Erfolge einfach über den Haufen und versuchte zu der direkten Kraftleistung durch Verpuffung der Gase zurückzukehren. Der Versuch gelang, und im Jahre 1878 trat Otto, wiederum gelegentlich einer Pariser Weltausstellung, mit einer neuen, ganz eigenartigen Gasmaschine an die Öffentlichkeit und leitete damit den

dritten Abschnitt in der Entwicklung der Gasmaschine ein, der auch heute noch nicht beendet ist, denn die neue Maschine, der „neue Otto", wie sie sehr bald nach ihrem Erfinder genannt wurde, war derart vorzüglich in allen ihren Teilen durchdacht und ausgeführt, ihre Wirkung war eine so hervorragend gute, daß eine wesentliche Verbesserung der Maschine, was ihre ganze Bauart anbetrifft, bis zum heutigen Tage unmöglich war, und eine Verminderung des Gasverbrauches erst in allerjüngster Zeit bei den besten Gasmaschinen erreicht wurde.

Die drei Punkte, in denen sich der neue Otto wesentlich von allen bisherigen Gasmaschinen unterschied, waren die folgenden: 1. Verdichtung des angesaugten Luft- und Gasgemisches vor der Zündung; 2. Entzündung des verdichteten Gasgemisches im sogenannten Totpunkte der Maschine, und 3. die sogenannte Viertaktwirkung, darin bestehend, daß die Maschine während eines Kolbenhin- und -herganges nur als Verdichtungspumpe benutzt wurde und erst bei dem darauffolgenden Hin- und Hergange des Kolbens als eigentliche Kraftmaschine arbeitete. Genaueres über diese Viertaktwirkung später.

Wie bedeutend die Erfindung Ottos war, läßt sich vielleicht am besten daraus erkennen, daß von allen Seiten der Versuch gemacht wurde, ihm seine Erfinderrechte streitig zu machen und die auf seine neue Gasmaschine bezüglichen Patente anzufechten. In der That gelang es Engländern und Franzosen mit Hilfe alter, längst vergessener Patentschriften nachzuweisen, daß gerade die oben erwähnten drei Hauptpunkte, durch welche sich der neue Otto von sämtlichen bisher ausgeführten Gasmaschinen unterschied, schon lange vor ihm von anderen gefunden und in ihren (nie ausgeführten) patentierten Gasmaschinen verwendet worden waren. Obgleich nun wohl mit Sicherheit anzunehmen ist, daß Otto völlig selbständig vorgegangen ist und daß ihm alle die später wieder ans Tageslicht gebrachten Patentschriften früherer Erfinder unbekannt gewesen sind, so muß doch zugegeben werden, daß sowohl die Verdichtung des Gasgemisches, wie die Totpunktzündung und Viertaktwirkung schon vor ihm erfunden worden waren. Dies kann aber das Verdienst Ottos nicht im geringsten schmälern. Durch ihn erst wurde die Wichtigkeit der drei erwähnten Punkte vollkommen erkannt, durch ihn erst erhielt die Gasmaschine die

Gestalt, die sie im Laufe der Jahre zu so gewaltigen Erfolgen befähigte, und so muß Otto entschieden neben Lenoir als der eigentliche Erfinder der Gasmaschine betrachtet werden.

Die Betriebsmittel. Leuchtgas. Schon in der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts war es bekannt, daß wenn man Brennstoffe, wie Steinkohle und dergleichen, in einem geschlossenen Gefäße erhitzt, ein Gas entsteht, welches angezündet mit leuchtender Flamme verbrennt. Die erste Nutzanwendung davon soll ein Engländer, Namens Murdoch, gemacht haben, der im Jahre 1792 seine Werkstatt mit einem solchen Gase erleuchtete. Da aber das Verfahren erst im Jahre 1801 durch den Franzosen Lebon bekannt wurde, der sich ein Patent auf einen Ofen zur Leuchtgasbereitung erteilen ließ, pflegt man Lebon gewöhnlich als den Erfinder des Leuchtgases zu bezeichnen. Heutzutage hat die Leuchtgasbereitung einen gewaltigen Aufschwung genommen, und es giebt wohl kaum noch eine Stadt oder einen Ort von auch nur mittlerer Größe, der nicht eine Gasanstalt besäße, ja in Amerika, wo Städte nicht selten sozusagen wie Pilze aus der Erde schießen, ist die Anlage einer Gasanstalt gewöhnlich mit das erste, was von der neu zu gründenden Stadt entsteht.

Die Herstellung des Leuchtgases ist im Grunde genommen außerordentlich einfach. Die Steinkohlen — solche werden fast durchgäng zur Leuchtgasbereitung benutzt — werden in großen Gefäßen, sogenannten Retorten, die früher aus Eisen, neuerdings wohl meistens aus Chamotte bestehen, luftdicht verschlossen und in diesen Gefäßen bis zur Weißglut erhitzt. Hierdurch entwickelt sich aus den Kohlen ein Gas, welches trotz der großen Hitze nicht verbrennen kann, weil eben der zur Verbrennung unbedingt erforderliche Sauerstoff, das heißt atmosphärische Luft, fehlt. Das Gas wird hierauf gekühlt, macht dann verschiedene Reinigungsvorgänge durch und wird schließlich in großen Behältern, Gasometer genannt, für den Gebrauch aufgespeichert. Das, was in den Retorten nach Austreibung des Gases aus den Steinkohlen zurückbleibt sind die bekannten Gaskoks (so zu schreiben und nicht Gaskoaks, denn das Wort kommt von dem lateinischen coctum, gekocht), welche zum Teil in der Gasanstalt selbst zum Anheizen der Retorten wieder benutzt werden.

Die Zusammensetzung des Leuchtgases, welches aus vielen einzelnen, innig miteinander vermischten Gasen besteht, ist eine

außerordentlich verschiedene und sehr stark wechselnde, je nach der Beschaffenheit der Kohle und nach der Art der Zubereitung oder, wie man sagt, der Destillation. Die Hauptbestandteile des Leuchtgases nach der Reinigung bilden erstens die sogenannten schweren Kohlenwasserstoffe, welche einen wesentlichen Einfluß auf den Heizwert des Gases ausüben, ferner Wasserstoff, Kohlenoxyd und geringe Mengen von Sauerstoff und Stickstoff. Der Gehalt an Kohlenoxyd ist es namentlich, der das Leuchtgas so außerordentlich giftig macht, wenige Atemzüge reinen Leuchtgases genügen, um Besinnungslosigkeit zu erzeugen, und selbst stark verdünntes Leuchtgas hat ja schon oft genug, wenn es längere Zeit, z. B. im Schlafe, eingeatmet wurde, den Tod von Menschen herbeigeführt. Der bekannte scharfe Geruch des Leuchtgases muß daher als willkommenes Warnungsmittel bezeichnet werden. Diese Warnung ist besonders deshalb so eindringlich, weil sich das Leuchtgas sehr leicht und schnell mit Luft vermischt, so daß der Geruch sich schnell auf weite Strecken hin verbreitet.

Diese rasche und innige Verbindung mit Luft — man nennt sie Diffusion — ist eine sehr wertvolle Eigenschaft des Leuchtgases, auf der nicht zum geringsten Teile die Möglichkeit beruht, das Gas in unseren Maschinen zur Krafterzeugung zu benutzen. Hätte das Leuchtgas diese Fähigkeit nicht, so würde es nur schwer zur Krafterzeugung zu verwenden sein. Für die Verbrennung eines Brennstoffes brauchen wir nämlich Luft, und zwar ist diese Verbrennung um so vollkommener, je vollkommener die Mischung des Brennstoffes mit Luft ist. Es würde also, wenn in den Gasmaschinen nicht sofort eine innige Vermischung der Luft mit dem Leuchtgase stattfände, ein beträchtlicher Teil des Gases mit Luft nicht in Berührung kommen, er würde nicht verbrennen können und unverbrannt, das heißt unausgenutzt, aus der Maschine entweichen.

Den Unterschied zwischen vollkommener und unvollkommener Verbrennung des Leuchtgases*), eine Folge der besseren oder weniger guten Vermischung mit Luft, können wir am besten an einer offen brennenden Gasflamme erkennen. Lassen wir Gas in einem gewöhnlichen Schlitzbrenner ausströmen und

*) Vgl. Blochmann, Luft, Wasser, Licht und Wärme, Leipzig, B. G. Teubner. V. und VI. Vortrag.

zünden es an, so verbrennt es mit hellleuchtender Flamme. Dieses helle Leuchten ist aber nur eine Folge der schlechten Vermischung des Gases mit Luft. Es können nämlich nur die äußeren Teilchen des ausströmenden Gasstrahles, die mit der Luft in Berührung stehen, vollständig verbrennen, wobei sie eine sehr starke Hitze entwickeln. Im Inneren des Gasstrahles, wo eine solch gute Berührung mit Luft nicht möglich ist, scheidet sich Kohlenstoff in fein zerteilter Form aus, kommt durch die Hitze der äußeren, vollständig verbrennenden Gasteilchen in Weißglut und liefert dadurch das Licht der Gasflamme.

Anders verhält sich die Sache aber, wenn wir das Gas, bevor es aus dem Brenner austritt, mit Luft vermischen, wie das in allen unseren Gaskochapparaten geschieht. In diesem Falle findet durch den ganzen Gasstrahl hindurch eine vollkommene Verbrennung unter größter Hitzeentwicklung statt, und diese vollkommene Verbrennung zeigt sich äußerlich dadurch, daß die Flamme ihre Leuchtfähigkeit vollständig verliert.

Die wichtigste Eigenschaft des Leuchtgases aber, auf welcher seine Verwendung zu Kraftzwecken beruht, ist die, daß es, mit Luft vermischt und in geschlossenen Räumen zur Entzündung gebracht, unter starker Druckentwicklung verbrennt oder, wie man sagt, verpufft. Diese Druckentwicklung begründet sich darauf, daß durch die Verbrennung eine große Menge Wärme frei wird, durch welche die Temperatur und damit die Spannung der entstehenden Gase gesteigert wird. Die Höhe der durch die Verpuffung entstehenden Temperatur und Spannung wird verschieden sein, je nach dem Verhältnis, in welchem Gas und Luft miteinander gemischt sind: Die größte Druckentwicklung wird offenbar dann stattfinden, wenn dem Gase gerade so viel Luft beigemischt ist, als zur vollständigen Verbrennung aller Gasteilchen eben nötig ist. Man spricht alsdann von einem „stärksten Gasgemisch". Enthält das Gemisch weniger Luft, so werden einzelne Gasteilchen unverbrannt bleiben, ist zuviel Luft vorhanden, so wird zwar die Verbrennung eine sehr vollkommene, aber ein Teil der entstandenen Wärme muß dann dazu verwendet werden, um diese überschüssige Luft mit zu erwärmen, er geht also für die Steigerung der Druckwirkung verloren. Wird das Verhältnis von Luft zu Gas noch größer, so kommt man schließlich an eine Grenze, bei welcher das Gemisch aufhört entzündbar zu sein, und ebenso wird es natürlich eine untere Grenze geben,

das heißt es wird eine geringste Luftmenge geben, welche einer bestimmten Gasmenge mindestens beigemischt werden muß, damit das Gemisch überhaupt entzündbar ist. Genaue Zahlen für die untere Grenze, für die obere Grenze und für das stärkste Gemisch lassen sich nur auf Grund genauer Gasuntersuchungen geben, im allgemeinen kann man jedoch annehmen, daß eine Mischung von 1 Raumteil Leuchtgas mit 5 bis 6 Teilen Luft jenem stärksten Gasgemisch entsprechen wird. Die untere Grenze für die Möglichkeit einer Verpuffung liegt etwa bei einer Mischung von 1 Raumteil Gas mit 4 Teilen Luft, während eine Mischung bei Außenluftspannung im allgemeinen aufhört entzündbar zu sein, wenn 1 Raumteil Gas mit 12 bis 14 Raumteilen Luft vermischt ist.

Auch auf die Zeitdauer einer solchen Verpuffnng hat das Mischungsverhältnis zwischen Gas und Luft einen wesentlichen Einfluß, derart, daß mit zunehmder Verdünnung des Gemisches auch die Zeit zunimmt, welche für die vollständige Verbrennung des ganzen Gemisches notwendig ist. Da diese Zeiten, wie aus dem folgenden ersichtlich ist, durchaus nicht von so unmeßbar kurzer Dauer sind, als man zunächst wohl anzunehmen geneigt ist, so folgt daraus, daß es eine falsche Vorstellung erwecken muß, wenn man solche Verpuffungen mit dem Namen Explosionen bezeichnet.

In seinem Buche über Gas- und Petroleummaschinen veröffentlicht der Engländer Dugald Clerk eine Reihe von Versuchen, die er mit Leuchtgas von Außenluftspannung und 17° Wärme angestellt hat. Die folgende Zusammenstellung giebt die Ergebnisse einer Anzahl dieser Versuche, aus denen der bei der Verbrennung entstehende höchste Druck, die Zeitdauer der Verbrennung, sowie die (rechnerisch bestimmte) höchste Temperatur während der Verpuffung ersichtlich ist.

Gemisch		Höchster Druck in atm Überdruck	Zeitdauer der Verpuffung Sekunden	Verpuffungstemperatur Grad Celsius
Raumteile Gas	Raumteile Luft			
1	4	5,60	0,16	1595
1	5	6,37	0,055	1812
1	6	6,30	0,04	1792
1	12	4,2	0,24	1202
1	14	2,8	0,45	806

Hier würde also die Mischung 1 zu 5 dem oben erwähnten stärksten Gasgemische entsprechen, da sich bei dieser Mischung der stärkste Druck, die höchste Temperatur, sowie annähernd die kürzeste Zeitdauer der Verpuffung ergiebt. Man sieht auch, daß bei der Verpuffung des schwächsten Gasgemisches von einer „Explosion" nicht mehr gut gesprochen werden kann, ja es ergiebt sich geradezu, daß eine derartige Verpuffung in einer Gasmaschine gar nicht mehr verwendet werden könnte, da hier der Kolben in der Regel eine so hohe Geschwindigkeit besitzt, daß er seinen Hub beendet haben würde, lange bevor diese Verpuffung ihr Ende erreicht hätte.

Die letzte Spalte der kleinen Tafel zeigt aufs deutlichste die Notwendigkeit einer allen Gasmaschinen eigentümlichen Einrichtung, nämlich die Notwendigkeit einer künstlichen Abkühlung der Cylinderwandungen. Welches auch der Kreisprozeß sein möge, der in den Gasmaschinen oder in den mit ihnen eng verwandten Petroleum- oder Benzinkraftmaschinen zur Anwendung gelangt, immer treten in diesem Kreisprozesse derartig hohe Temperaturen auf, daß die Cylinderwandungen in kürzester Zeit zerstört sein müßten, wenn sie nicht künstlich von außen gekühlt werden würden. In der Regel geschieht diese Kühlung in der Weise, daß der Arbeitscylinder der Maschine von einem Mantel umgeben wird und durch den zwischen Mantel und Cylinder entstehenden Hohlraum Wasser in ununterbrochenem Strome hindurchgeleitet wird. Freilich ist mit einer solchen Kühlung auch ein großer Wärmeverlust oder, was ja damit gleichbedeutend ist, ein großer Verlust an Arbeitsvermögen verbunden; aber gerade so, wie es bei der Dampfmaschine unmöglich ist, die in dem Dampfe enthaltene latente Wärme (S. 28) vollständig auszunutzen und der dadurch entstehende große Wärmeverlust bei der Verwendung des Wasserdampfes als Kraftträger mit in Kauf genommen werden muß, ebenso ist auch die Cylinderkühlung bei den Gasmaschinen ein notwendiges Übel, dessen Herabminderung auf ein möglichst geringes Maß das Bestreben aller Erbauer von Gasmaschinen sein muß, da heutzutage noch die in das Kühlwasser übergehende Wärme fast die Hälfte der ganzen bei der Verpuffung sich bildenden Wärme beträgt.

Hatten wir im vorhergehenden gesehen, daß das Leuchtgas eine Reihe wertvoller Eigenschaften besitzt, welche es für die Verwendung in Gasmaschinen besonders geeignet machen, so

wäre nun noch die Frage zu erörtern, in welcher Weise die in den Steinkohlen zur Verfügung stehende Wärme durch die Herstellung von Leuchtgas ausgenutzt wird. Es bedarf wohl keiner Erwähnung, daß diese Ausnutzung eine sehr verschiedene sein wird, je nach der Größe und Vollkommenheit der einzelnen Gasanstalten, es ist ferner klar, daß bei schwacher Inanspruchnahme des Gaswerkes die Erzeugung des Gases eine ungünstigere ist als in den Tagen voller Benutzung der Gasanstalt. Die im folgenden angegebenen Zahlen sind einer Mitteilung von J. Körting in der Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure, Jahrgang 1899, S. 702 ff. entnommen und beziehen sich, wie dort angegeben, auf den laufenden Betrieb, das heißt, es sind Durchschnittszahlen, bei denen auch die Zeiten schwacher Inanspruchnahme des Gaswerkes, also ungünstiger Erzeugung, mit in Rechnung gezogen sind.

Die Leuchtgasherstellung ist eine der wenigen Industrien, welche ohne jede Abfallstoffe arbeiten, da sämtliche sich ergebenden Nebenerzeugnisse, der Koks, der Teer, sowie das Ammoniakwasser in gewinnbringender Weise verwertet werden. Aus 100 kg westfälischer Steinkohle werden im Mittel erzeugt:

28 cbm Leuchtgas mit einem mittleren Heizwerte von 5000 WE f. d. cbm,
65 kg Koks mit einem mittleren Heizwerte von 7000 WE f. d. kg,
4,7 kg Teer mit einem mittleren Heizwerte von 8650 WE f. d. kg.

Ein Teil der erzeugten Gaskoks wird in der Gasanstalt selbst zur Erhitzung der Retorten wieder verbraucht. Die Menge dieser wieder verbrauchten Koks richtet sich nach der größeren oder geringeren Vollkommenheit der Anlage. Im Mittel kann man annehmen, daß in neueren, gut eingerichteten Gasanstalten zur Vergasung von 100 kg Steinkohle etwa 14 kg Koks verbraucht werden, so daß also 65 — 14 = 51 kg Koks zu anderweitiger Verwendung übrig bleiben. Nimmt man an, daß die Steinkohle einen mittleren Heizwert von 7000 WE f. d. kg besitzt, so erhält man von den 700000 WE, welche 100 kg vergaster Steinkohle besessen haben, ungefähr

28 × 5000 =	140000 WE	im erzeugten Gase,
51 × 7000 =	357000 „	in den übrig bleibenden Koks,
4,7 × 8650 =	40650 „	im gewonnenen Teer, also
zusammen	537650 WE,	

oder eine Ausnutzung des Brennstoffes von $\frac{537\,650}{700\,000} = 0{,}77$, das heißt 77 %.

Ist dieses an sich schon eine ganz vorteilhafte Ausnutzung — bei Dampfkesselanlagen dürfte man auf so günstige Durchschnittszahlen im allgemeinen nicht kommen —, so ist ferner zu beachten, daß die eben genannte Ausnutzungszahl noch dadurch erhöht wird, daß die Verkaufspreise der Nebenerzeugnisse, Koks und Teer, ziemlich hoch sind, und sich bei Teer bisweilen doppelt so hoch stellen als die Preise für Koks, beziehungsweise für Gaskohlen. Auch der Wert des Ammoniaks ist hier mit in Rechnung zu ziehen. Ammoniak hat allerdings keinen Heizwert, es kann also bei der Beurteilung der Frage, wie bei der Gaserzeugung der Heizwert der Kohle ausgenutzt wird, nicht in Betracht kommen, dagegen hat es einen manchmal nicht unbeträchtlichen Verkaufswert und trägt auf diese Weise auch seinerseits zur Verminderung der Herstellungskosten des Leuchtgases, das heißt zur besseren Ausnutzung der Steinkohle bei.

Kraftgas (Dowsongas). So vorteilhaft nun auch die Verwendung des Leuchtgases als Mittel zur Krafterzeugung ist, so einfach es auch ist dieses Gas überall hinzuleiten, so hat seine Verwendung für die Besitzer von Gaskraftmaschinen doch eine unangenehme Seite, nämlich die stete Abhängigkeit von der Gasanstalt. Diese Abhängigkeit, die um so fühlbarer wird, je größer der Verbrauch an Leuchtgas ist, verbunden mit dem hohen Preise, welchen einzelne Gasanstalten noch immer (meist zu ihrem eigenen Nachteile) für die Lieferung des zu Kraftzwecken verwendeten Gases verlangen, machen es häufig genug wünschenswert, in ähnlicher Weise wie der Dampfkesselbesitzer bei der Krafterzeugung eine größere Selbständigkeit zu besitzen, beziehungsweise ein billigeres Betriebsmittel zu erhalten, als es das von den Gasanstalten gelieferte Leuchtgas ist. Die Errichtung einer eigenen Leuchtgasanstalt ist in den meisten Fällen in Anbetracht der hohen Anlage- und Betriebskosten, sowie in Anbetracht der umständlichen Herstellungsweise des Leuchtgases nicht angängig, dagegen hat in den letzten Jahren ein von dem Engländer Emerson Dowson erfundenes und nach ihm gewöhnlich benanntes Gas eine ziemlich weite Verbreitung als Kraftgas gefunden, und da dieses Dowsongas neben einem

genügend großen Heizwerte den Vorteil besitzt, sich verhältnismäßig leicht herstellen zu lassen, so hat sich die Anlage derartiger Gaserzeugungsvorrichtungen für größere Betriebe als sehr empfehlenswert herausgestellt.

Die Herstellung des Dowsongases geschieht in der Weise, daß man zunächst in einem kleinen Dampfkessel Dampf von etwa 3 atm Spannung erzeugt und diesen Dampf, mit Luft vermischt, durch eine Schicht glühender Kohlen hindurchstreichen läßt, welche sich in einem kleinen Ofen, dem sogenannten

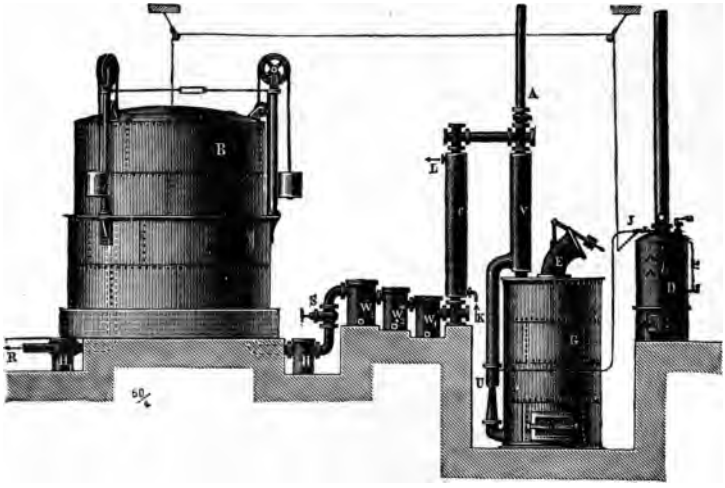


Abb. 6.

Generator, befinden. Ein Teil der von dem Dampfe mitgerissenen Luft liefert hierbei den Sauerstoff, welcher zur Verbrennung des im Generator befindlichen Brennstoffes notwendig ist, während der andere Teil der Luft, ebenso wie der Wasserdampf, bei dem Hindurchstreichen durch die glühenden Kohlen eine chemische Zersetzung erleidet und in Verbindung mit dem bei der Verbrennung der Kohlen freiwerdenden Kohlenoxyd ein brennbares Gas bildet, welches nach einigen Reinigungsvorgängen in einem Behälter (Gasometer) aufgefangen wird. Der Generator muß natürlich von Zeit zu Zeit mit neuem Brennstoffe beschickt werden, jedoch dürfen hierzu nicht die gewöhlichen Gaskohlen

verwendet werden, da diese Kohlen, wie wir früher gesehen hatten, noch andere Nebenbestandteile, besonders Teer und Ammoniak, enthalten, welche bei dieser einfachen Herstellungsweise schwer zu beseitigen wären. Man konnte daher früher nur den sogenannten Anthracit verwenden, wodurch die Herstellung des Dowsongases dort, wo Anthracit nur schwer zu bekommen war, ziemlich kostspielig wurde. In neuerer Zeit ist es jedoch gelungen, auch den gewöhnlichen Gaskoks mit gutem Erfolge zu verwenden, der zwar ein Gas von etwas geringerem Heizwerte liefert, dafür aber die Kosten für die Herstellung bedeutend herabmindert und vor allen Dingen eine umfangreichere Verwendung der Dowsongas-Anlagen ermöglicht.

Die nebenstehende Abb. 6 stellt die Übersichtsskizze einer Kraftgasanlage dar, wie sie von Gebrüder Körting in Körtingsdorf bei Hannover ausgeführt wird. D ist der kleine Dampfkessel, welcher den Dampf für das Dampfstrahlgebläse U liefert, vermittelst dessen die zur Vergasung nötige Luft in den Generator G gebracht wird. E ist die Öffnung, durch welche der Brennstoff in den Generator geschüttet wird. Das entstandene Gas durchströmt zunächst ein Rohr, welches von einem Mantel V umgeben ist, giebt hier an die von dem Dampfstrahlgebläse angesaugte, zwischen dem Rohr und dem Mantel V hindurchstreichende Luft einen Teil seiner Eigenwärme ab und durchströmt dann ein mit dem Kühlwassermantel C umgebenes Rohr, in welchem es noch weiter abgekühlt wird. Durch die Waschvorrichtungen W_1, W_2, W_3 gelangt das Gas dann schließlich in den Behälter B, in welchem es aufgespeichert wird. Für geringwertige Brennstoffe wird hinter dem Wascher W_3 noch ein Sägespänreiniger eingebaut.

Das Dowsongas ist ein farbloses und fast geruchloses Gas, welches angezündet mit nichtleuchtender, bläulicher Flamme verbrennt. Wegen seines bedeutenden Gehaltes an Kohlenoxyd ist es außerordentlich giftig, weshalb bei der Anwendung mit größter Vorsicht verfahren werden muß. Die Wärmeausnutzung bei der Herstellung ist eine ganz vorzügliche, da sich von dem Wärmevermögen des im Generator verwendeten Brennstoffes gegen 85 % in dem erzeugten Gase wiederfinden, während z. B., wie wir gesehen hatten, das Wärmevermögen des Leuchtgases im Mittel nur 20 % des Wärmevermögens der vergasten Kohle betrug.

1 kg Anthracit liefert ungefähr 4,5 cbm Dowsongas mit einem mittleren Heizwerte von etwa 1300 WE f. d. cbm. Das aus Koks hergestellte Dowsongas ist etwas ärmer, sein Heizwert beträgt nur etwa 1100 WE f. d. cbm.

Der Brennstoffbedarf, der gewöhnlich in kg für 1 Std-PS_n angegeben wird, beträgt bei kleinen Maschinen ungefähr 0,75 kg, bei größeren Maschinen etwa 0,55 kg Anthracit. Rechnet man auch hier wieder, wie auf Seite 51, die Kosten für 1 Std-PS_n aus, unter den dort angegebenen Bedingungen und unter der Annahme eines Preises von 2,60 Mk. für 100 kg Anthracit, so ergeben sich bei einer Leistung von 25 PS bezw. 100 PS die Gesamtunkosten für 1 Std-PS zu 6,31 Pfg. bezw. 3,59 Pfg.

Stellen wir die auf Seite 51 gefundenen Werte mit den eben gefundenen zusammen, so erhalten wir (unter den früher angegebenen Voraussetzungen) folgende

Gesamtkosten für 1 Std-PS_n in Pfennigen

Arbeits-leistung in PS	Dampfmaschinen		Gasmaschinen		Diesel-maschine
			Leuchtgas	Kraftgas	
25	11,01	ohne Kondensation	7,51	**6,31**	7,85
100	5,21	mit Kondensation	6,41	**3,59**	7,14

Aus dieser Zusammenstellung ergiebt sich, daß die Krafterzeugung vermittelst Kraftgasanlage und Gasmaschinen auch bei großen Arbeitsleistungen billiger wird als unter Verwendung guter Dampfmaschinen.

Hochofengase (Gichtgase). Das Bestreben, vorhandene Wärmequellen besser als bisher auszunutzen, in Verbindung mit dem Bestreben, den Gaskraftmaschinen immer weitere Absatz- und Anwendungsgebiete zu verschaffen, führte in allerjüngster Zeit zu den Versuchen, die bei der Erzeugung des Roheisens, das heißt beim Hochofenbetriebe sich bildenden sogenannten Gichtgase zum Betriebe von Gasmaschinen zu verwenden. Im kleineren Maßstabe durchgeführt, haben diese Versuche schon zu glänzenden Ergebnissen geführt, große Gichtmaschinen (bis zu 1200 PS) sind in jüngster Zeit teils aufgestellt, teils in der

Ausführung begriffen. Sollte es gelingen, diese Maschinen so zu bauen, daß sie allen Anforderungen entsprechen, die in solchen Eisenhüttenwerken an sie gestellt werden müssen, vor allen Dingen mit Bezug auf Betriebssicherheit, so wäre damit ein weiterer großer Fortschritt in der Entwicklung der Gasmaschinen erreicht. Aber nicht bloß den Erbauern von Gasmaschinen wäre damit gedient, vor allen Dingen auch den Hüttenwerken selber, die neben einer wesentlich einfacheren Kraftmaschine eine ungleich bessere Ausnutzung der ihnen zu Gebote stehenden Wärmequellen erhalten würden.

Die der oberen Öffnung der Hochöfen entsteigenden Gase, Gichtgase genannt, wurden bis jetzt zum größten Teile zur Winderhitzung verwendet, das heißt zur Erwärmung derjenigen Luft, welche zur Erhaltung der Verbrennung in den Hochofen eingeblasen werden muß. Der Rest diente dazu, unter den Dampfkesseln verbrannt zu werden, welche den Dampf für die Gebläsemaschinen und sonstigen auf den Werken benötigten Betriebsmaschinen zu liefern hatten. Gerade diese Ausnutzung zur Dampferzeugung war nun bisher eine höchst mangelhafte. So ergab z. B. die Messung auf einem Hochofenwerke von 600 t täglicher Roheisenerzeugung, daß die Gichtgase gerade dazu ausreichten, um alle auf dem Werke befindlichen Maschinen wie Gebläsemaschinen, Aufzugsmaschinen, Pumpen u. s. w. mit Dampfmaschinen zu betreiben, welche insgesamt etwa 2300 PS_i leisteten. Der Verbrauch an Gichtgas für 1 Std-PS_i wurde auf 22 cbm festgestellt. Da sich nun nach den oben erwähnten Versuchen herausgestellt hat, daß eine Gasmaschine, selbst von mittlerer Güte, nur etwa 4 cbm Gichtgas für 1 Std-PS_i verbraucht, so würde das genannte Hochofenwerk, wenn es die vorher zur Dampferzeugung verwendeten Gichtgase in Gasmaschinen zur Krafterzeugung benutzen wollte,

$$\frac{22 \times 2300}{4} = \sim 12600 \text{ PS}_i$$

zur Verfügung haben. Das Werk würde also neben seinem vollen Betriebe noch rund 10000 PS_i zu anderweitiger Arbeitsleistung verwenden oder nach außen hin abgeben können, das heißt, es würde geradezu neben seinem Betriebe noch als Kraftcentrale für eine weite Umgebung dienen können.

Der Verbrauch an Gichtgas für 1 Std-PS ist deswegen

so bedeutend im Verhältnis zum Leuchtgas, weil Gichtgas einen bedeutend geringeren Heizwert besitzt als Leuchtgas, nämlich im Durchschnitt nur etwa 850 WE f. d. cbm, gegenüber rund 5000 WE f. d. cbm beim Leuchtgas. Nun könnte man zunächst denken, daß eine mit Gichtgas betriebene Maschine im Verhältnis zu einer gleichgroßen Leuchtgasmaschine nur $\frac{850}{5000} = 0{,}17$ oder 17 % der Leistung erreichen würde. Dies ist aber durchaus nicht der Fall. Es kommt nämlich nicht auf den Heizwert des verwendeten Gases an, sondern auf den Heizwert des verwendeten Gasgemisches. Nun braucht aber 1 cbm Leuchtgas zu vollständiger Verbrennung rund 5 cbm Luft, Gichtgas dagegen nur 0,8 cbm. 1 cbm Gasgemisch hat also bei Verwendung von Leuchtgas einen Heizwert von $\frac{5000}{1+5} = \sim 830$ WE, bei Verwendung von Gichtgas aber $\frac{850}{1+0{,}8} = 470$ WE. Erwägt man noch, daß eine Leuchtgasmaschine, wie wir früher gesehen hatten, nie mit dem stärksten Gasgemisch, sondern immer mit viel höherer als fünffacher Luftverdünnung arbeitet, während die Gichtgasmaschine mit einem viel geringeren Luftüberschusse auskommt, so ist es erklärlich, daß, wie die Versuche gezeigt haben, eine mit Gichtgas betriebene Gasmaschine nur eine um etwa 15 bis 20 % geringere Leistung hat als eine gleichgroße Leuchtgasmaschine. Mit anderen Worten, die Cylinderabmessungen einer Gichtmaschine brauchen nur unwesentlich größer zu sein, als die einer Leuchtgasmaschine gleicher Leistung.

Überhaupt unterscheidet sich die Gichtgasmaschine selbst, ihrer Bauart nach, in nichts von einer Leuchtgasmaschine, es kommen nur bei der Anlage einer Gichtgasmaschine gewisse Vorrichtungen hinzu, welche dazu dienen, die Gase, bevor sie in die Maschine kommen, zu reinigen, da die Gichtgase immer Beimengungen von Staub sowie von Metall- und anderen Dämpfen enthalten, welche von der Maschine möglichst fern gehalten werden müssen.

Acetylengas. Erwähnt mag schließlich noch werden, daß in neuester Zeit versucht worden ist, auch Acetylengas zum Betriebe von Gasmaschinen zu verwenden. Der Erfolg dieser Versuche scheiterte bis jetzt noch vor allen Dingen an dem

hohen Preise des zur Acetylengasbereitung verwendeten Calciumcarbids. Sollte es indessen möglich werden — was ja an sich nicht unwahrscheinlich ist — das Calciumcarbid zu einem wesentlich billigeren Preise herzustellen als bisher, so würde auch damit wieder das Anwendungsgebiet der Gasmaschinen bedeutend erweitert werden. Vor allen Dingen aber wäre damit die Ausnutzung einer neuen Energiequelle geschaffen, die um so bedeutungsvoller sein würde, als wir damit nicht mehr auf die Kohle allein als Energiequelle für unsere Wärmekraftmaschinen angewiesen wären.

Wirkungsweise der neueren Gasmaschinen. Der neue „geräuschlose" Otto, wie die Maschine im Gegensatze zu der einen großen Lärm verursachenden Maschine von Otto und Langen genannt wurde, war in gewisser Weise ein Rückschritt, insofern nämlich, als ihr Gasverbrauch für eine Nutzpferdestärke den der atmosphärischen Gasmaschine, in der ersten Zeit wenigstens, nicht unbedeutend überstieg. Der große Fortschritt gegen die alte Maschine von Otto und Langen bestand zunächst rein äußerlich einmal in der bedeutend einfacheren Bauart, ferner in dem verhältnismäßig geräuschlosen Gange, vor allen Dingen aber darin, daß die Abmessungen auch für größere Leistungen sich in bescheidenen Grenzen hielten. Sieht man von diesen Äußerlichkeiten ab, so bestand der größte Fortschritt gegen alle früheren, thatsächlich ausgeführten Maschinen in der viel vollkommeneren Wirkungsweise, das heißt in der Verwendung verdichteter Gasgemische; sie allein war die Grundlage für die hohe Entwicklung und den hohen Grad der Vollkommenheit, welchen die Gaskraftmaschinen in neuerer Zeit erreicht haben.

Es könnte hier vielleicht als ein Widerspruch erscheinen, daß ja die alte Maschine von Otto und Langen, die doch mit unverdichteten Gemischen arbeitete, trotzdem einen so geringen Gasverbrauch für die Nutzpferdestärke aufwies. Dieser Widerspruch verschwindet jedoch, wenn man sich die Wirkungsweise der atmosphärischen Gaskraftmaschine etwas näher betrachtet. Wie wir früher gesehen hatten, saugte der Kolben zunächst auf einem kleinen Teile seines Weges ein Gemisch von Gas und Luft an. Dieses Gemisch wurde entzündet in einem Augenblicke, wo die Bewegung des Kolbens eine außerordentlich langsame war; das Gas verpuffte, und die durch die Verpuffung

entstehenden hochgespannten Gase schleuderten den Kolben geschoßartig in die Höhe. Die Verpuffung und das Emporschleudern des Kolbens geschahen nun so rasch, daß die infolge der Verpuffung sich bildende Wärme keine Zeit hatte in die verhältnismäßig kühlen Cylinderwandungen überzugehen, das heißt verloren zu gehen. War der Kolben in seinem höchsten Punkte angelangt, dann trat ja allerdings infolge der Berührung der Gase mit den kalten Cylinderwandungen eine rasche und starke Abkühlung ein, die noch unterstützt wurde durch einen den Cylinder umgebenden Kühlwassermantel, aber dies war es ja gerade, was hier angestrebt wurde. Durch diese rasche, weitgehende Abkühlung trat eine starke Luftverdünnung unter dem Kolben ein, welche bewirkte, daß der auf der anderen Seite des Kolbens wirkende Druck der Außenluft den Kolben nach abwärts trieb und auf diese Weise, wie wir gesehen hatten, Arbeit verrichtete. Mit anderen Worten, die eigentliche Umsetzung von Wärme in Arbeit, die Übertragung der Arbeitsfähigkeit an den Kolben, geschah hier in möglichst vollkommener Weise, unter möglichst geringem Wärmeverlust, daher der geringe Gasverbrauch.

Betrachten wir dagegen mit Hinblick hierauf die Gaskraftmaschine von Lenoir. Bei dieser Maschine saugte der Kolben etwa bis zur Mitte seines Hubes Gasgemisch an, dann erst, also während der Kolben etwa in der Mitte des Cylinders stand, trat die Zündung ein. Das hierbei ein außerordentlich starker Wärmeverlust eintreten mußte, zeigt eine einfache Überlegung. Zunächst stand ja schon bei Beginn der Verpuffung das ganze Gasgemisch mit der Hälfte der (stark gekühlten!) Cylinderwandungen in Berührung, außerdem aber besitzt der Kolben gerade in der Mitte seines Hubes seine größte Geschwindigkeit, wie eine einfache Überlegung an der Hand der nebenstehenden Skizze (Abb. 7) zeigt. Der Kolben ist durch die Schubstange *b* mit dem an der Kurbel *c* angebrachten Kurbelzapfen *d* verbunden. Die Umdrehung des Kurbelzapfens können wir mit genügender Genauigkeit als eine gleichförmige ansehen, das heißt wir können annehmen, daß der Zapfen in einer Sekunde immer denselben Bogen zurücklegt. Teilen wir nun beispielsweise den Halbkreis $\overset{\frown}{03}$ in drei gleiche Teile $\overset{\frown}{01}$, $\overset{\frown}{12}$, $\overset{\frown}{23}$, wobei wir annehmen wollen, daß der Kurbelzapfen einen jeden solchen Teil gerade in einer Sekunde durchläuft, und vergleichen

wir damit die Strecken, welche der Kolben in demselben Zeitraume zurücklegt, so erkennen wir, daß der Kolben während der zweiten Sekunde, das heißt in der Mitte seines Hubes einen viel größeren Weg zurücklegt als in der ersten und dritten Sekunde. Mit anderen Worten, der Kolben besitzt gerade in der Mitte seines Hubes seine größte Geschwindigkeit und da wir früher gesehen hatten, daß die Verpuffung eines Gemisches durchaus nicht in unmeßbar kurzer Zeit erfolgt, so war bei der Lenoir-Maschine die vollständige Verbrennung des Gasgemisches erst beendet, nachdem der Kolben den größten Teil seines Hubes zurückgelegt hatte. An eine Ausnutzung des gewonnenen Arbeitsvermögens, das heißt an eine möglichst weitgehende Ausdehnung (Expansion) der hoch gespannten Gase war dann während des letzten Teiles des Kolbenweges natürlich

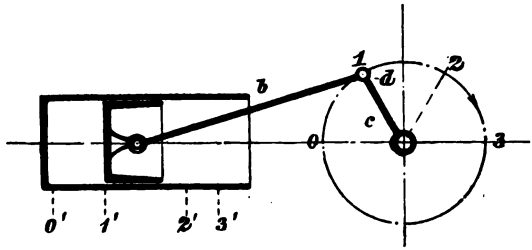


Abb. 7.

nicht mehr zu denken, die Gase entwichen mit hoher Temperatur und hoher Spannung aus dem Cylinder, das in ihnen enthaltene Arbeitsvermögen ging für die Wirkung in der Maschine vollständig verloren. Daß die Verpuffung des Gasgemisches in dem Augenblicke der größten Kolbengeschwindigkeit von großem Nachteile für eine möglichst vollkommene Wärmeausnutzung sein mußte, ergiebt sich noch aus folgender Betrachtung. Wir hatten früher (S. 19) gesehen, daß nach dem Gesetze von Gay-Lussac bei gleichbleibendem Volumen die Spannungen sich verhalten wie die absoluten Temperaturen. Bleibt also während der Verpuffung eines Gasgemisches das Volumen unverändert, so steigt die Spannung im Verhältnis der absoluten Temperaturen des Gemisches vor und nach der Zündung. Findet dagegen die Verpuffung nicht bei gleichbleibendem Volumen statt, das heißt vergrößert sich das Volumen während der Verpuffung, in

unserem Falle also dadurch, daß der Kolben schnell vorwärts schreitet, so geht schon während der Verpuffung ein Teil der entstehenden Wärme durch die Ausdehnung des Gemisches verloren, die durch die Verpuffung erreichbare Spannung kann demnach auch nicht die Höhe erreichen, die sie sonst bei gleichbleibendem Volumen erreichen würde. Man erkennt leicht, daß dieser Nachteil bei der atmosphärischen Gaskraftmaschine von Otto und Langen vermieden war. Hier trat die Verpuffung annähernd bei gleichbleibendem Volumen ein, da der Kolben in dem Augenblicke der Zündung nur eine sehr geringe Geschwindigkeit besaß.

Also eine Verpuffung bei möglichst kleinem und möglichst gleichbleibendem Volumen ist es, die bei Gaskraftmaschinen angestrebt werden muß und beide Bedingungen erfüllte eben der neue Otto in ziemlich vollkommener Weise, erstens durch die Verwendung verdichteter Gasgemische und zweitens durch die Zündung im Totpunkte der Maschine, das heißt bei kleinster Kolbengeschwindigkeit.

Viertaktwirkung. Um den als richtig erkannten Grundgedanken der Verwendung verdichteten Gasgemisches auszuführen, schlug Otto zunächst den Weg ein, den nach ihm noch viele andere mit mehr oder weniger Erfolg betraten, nämlich den, zwei Cylinder zu verwenden. In dem einen Cylinder sollte ein Gemisch von Gas und Luft angesaugt und während des Kolbenrückganges verdichtet werden. Dieses verdichtete Gemisch sollte dann in einen zweiten Cylinder überströmen, hier in geeigneter Weise entzündet werden, worauf dann durch Ausdehnung der hochgespannten Verbrennungsgase Arbeit an einen in diesem zweiten Cylinder befindlichen Kolben übertragen werden sollte. Da sich jedoch bei der Ausführung dieser Bauart mancherlei Schwierigkeiten und Übelstände herausstellten, vor allen Dingen der Übelstand, daß die Maschine dadurch an Einfachheit verlor, kam Otto auf den Gedanken, die Vorgänge, die sich sonst in zwei Cylindern abspielten, in einen Cylinder zu verlegen, das heißt die Maschine so einzurichten, daß sie zunächst während einer vollständigen Umdrehung, also während eines Kolbenhin- und -herganges als Verdichtungspumpe diente, bei der nächsten Umdrehung aber durch Entzündung des vorher verdichteten Gasgemisches als Wärmekraftmaschine arbeitete. Der Versuch

gelang und erwies sich in der Folge als so außerordentlich günstig und zweckmäßig, daß heute noch fast alle Gaskraftmaschinen mit dieser von Otto zuerst bei seinen Maschinen angewendeten Arbeitsweise ausgeführt werden.

Der ganze Arbeitsvorgang in dem Cylinder einer neuen Ottoschen Gasmaschine spielt sich nur auf einer Kolbenseite ab, während die andere Seite des Kolbens dauernd von der Außenluft berührt wird. Die Reihenfolge der Arbeitsvorgänge ist dabei die folgende:

Erster Abschnitt: Der Kolben geht nach außen und saugt dabei ein Gemisch von Gas und Luft an: Ansaugeabschnitt.

Zweiter Abschnitt: Der Kolben geht nach innen und verdichtet das vorher angesaugte Gasgemisch: Verdichtungsabschnitt.

Dritter Abschnitt: Wenn der Kolben seinen Weg nach innen beendet hat und eben wieder nach außen umkehren will (innerer Totpunkt der Maschine), findet die Zündung und damit die Verpuffung des Gasgemisches statt. Die hochgespannten Gase dehnen sich aus und treiben den Kolben nach außen, indem sie an ihn Arbeit übertragen: Arbeitsabschnitt.

Vierter Abschnitt: Der Kolben dreht wieder um, er geht nach innen und treibt dabei die verbrannten Gase, die ihre Spannung zum größten Teile verloren haben, aus dem Cylinder heraus: Auspuffabschnitt.

Hierauf beginnt das Spiel von neuem.

Wie man sieht, findet eine eigentliche Arbeitsübertragung auf den Kolben nur bei jedem vierten Hube statt, die für die anderen drei Hübe — Auspuff, Ansaugen, Verdichten — nötige Arbeit muß durch das Schwungrad der Maschine geleistet werden, wobei ihm die während des Arbeitsabschnittes zugeführte und in ihm aufgespeicherte Energie zum Teil wieder entzogen wird. Weil also nur bei jedem vierten Hube oder, wie man sagt, bei jedem vierten Takte der Maschine wirklich Arbeit geleistet wird, nennt man diese Arbeitsweise Viertaktwirkung und die in dieser Art arbeitenden Maschinen Viertaktmaschinen. Führt man dagegen Arbeitscylinder und Verdichtungscylinder, wie oben beschrieben, einzeln aus, dann findet bei jeder Umdrehung der Maschine eine Verpuffung statt, der Kolben erhält bei jedem zweiten Hube oder Takte einen Arbeits-

antrieb und man nennt dann diese Arbeitsweise Zweitaktwirkung, die in dieser Art arbeitenden Maschinen Zweitaktmaschinen.

Die Wirkungsweise einer Viertaktmaschine wird am besten durch das nebenstehende theoretische Diagramm erläutert. Die äußersten Kolbenstellungen sind in dem unter dem Diagramm schematisch gezeichneten Cylinder mit a', b' bezeichnet, so daß also a' dem sogenannten inneren Totpunkte, b' dem äußeren Totpunkte der Maschine entspricht. Von a bis b saugt der Kolben Gasgemisch an, dessen Spannung annähernd mit der Spannung der Außenluft übereinstimmt (atm. Abb. 8). Auf dem Rückwege des Kolbens wird dieses Gasgemisch verdichtet, wodurch die Spannung allmählich bis zum Punkte c steigt. In diesem Augenblicke tritt die Zündung ein, der Druck steigt infolge der Verpuffung fast augenblicklich bis zum Punkte d, die hochgespannten Gase dehnen sich aus und treiben den Kolben vorwärts, wobei ihr Druck allmählich bis zum Punkte e abnimmt. Durch Öffnung des Auspuffventiles fällt der Druck rasch bis auf Außenluftspannung (Punkt b) und mit dieser Spannung werden die Gase auf dem Rückwege des Kolbens (b, a) aus dem Cylinder ausgetrieben, so daß also die Linie a, b gewissermaßen als Doppellinie zu denken ist. Die von der Maschine geleistete Arbeit wird, wie früher gezeigt, durch die Fläche b, c, d, e, b dargestellt.

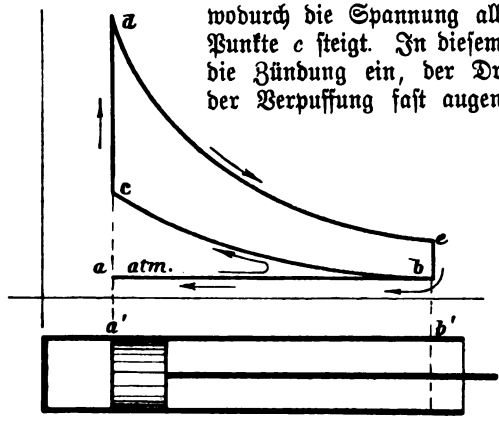


Abb. 8.

Wenn nun auch die sogenannten Viertaktmaschinen den unbestreitbaren Vorzug großer Einfachheit besitzen, so haften ihnen doch gerade infolge ihrer Wirkungsweise zwei wesentliche Mängel an. Es wurde schon oben darauf hingewiesen, daß immer erst nach jedem vierten Hube der Kolben einen Arbeitsantrieb erfährt und infolgedessen die für die anderen drei Hübe

nötige Arbeit der in dem Schwungrade aufgespeicherten Energie entnommen werden muß. Eine solche Arbeitsentnahme, die ja ähnlich wirkt wie das Anziehen einer Bremse, hat aber selbstverständlich zur Folge, daß die Umdrehungsgeschwindigkeit des Schwungrades, das heißt der Gang der Maschine, sich während dieser drei Hübe allmählich verlangsamt, wenn auch nur in geringem Maße. Während des Arbeitshubes tritt dann wieder eine Erhöhung der Umdrehungsgeschwindigkeit ein und so weiter fort. Eine solche Unregelmäßigkeit des Ganges mag ja nun allerdings für manche Betriebe belanglos sein, für die meisten aber, und namentlich z. B. zum Antriebe von Maschinen für die Erzeugung elektrischen Lichtes, für Spinnereimaschinen u. dgl. wäre die Anwendung solcher Viertaktmaschinen einfach ausgeschlossen, wenn es nicht möglich wäre, diese Unregelmäßigkeit der Umdrehungsgeschwindigkeit zu beseitigen, beziehungsweise stark herabzumindern. Dies kann nun in der That geschehen und zwar zunächst einmal dadurch, daß man die Maschinen mit einem oder, wenn noch höhere Gleichmäßigkeit verlangt wird, mit zwei Schwungrädern versieht. In den Massen dieser Schwungräder lassen sich so große Mengen mechanischer Arbeit anhäufen, daß es schon einer bedeutenden Arbeitsentnahme bedarf, um die Umfangsgeschwindigkeit in einer merkbaren und unzulässigen Weise zu verringern. Bei größeren Maschinen, bei denen entsprechend schwere Schwungräder zu bedeutende Abmessungen erhalten würden, kann eine größere Gleichmäßigkeit des Ganges noch in der Weise erzielt werden, daß man die Maschine nicht mit einem, sondern mit zwei Arbeitscylindern ausführt, deren Kolben an zwei ganz gleichgerichteten Kurbeln arbeiten. Die Arbeitsvorgänge in diesen beiden Cylindern werden nun aber so verteilt und gewissermaßen gegeneinander versetzt, daß, während der Kolben des einen Cylinders Gasgemisch ansaugt, in dem anderen Cylinder der Arbeitshub stattfindet, und umgekehrt. Man erkennt leicht, daß auf diese Weise die Schwungradwelle nicht erst bei jedem vierten Hube, sondern schon bei jedem zweiten Hube, das heißt also bei jeder Umdrehung der Maschine, einen Arbeitsantrieb erhält und zwar abwechselnd von dem ersten Cylinder und von dem zweiten Cylinder, was natürlich eine bedeutend größere Gleichförmigkeit des Ganges zur Folge hat.

Ein weiterer großer Nachteil der Viertaktwirkung ergiebt

sich aus dem Umstande, daß die Verdichtung des Gasgemisches in demselben Cylinder stattfinden muß, wie die Ausdehnung der infolge der Verpuffung entstandenen hochgespannten Gase. Daß dies in der That ein Nachteil ist, zeigt die Betrachtung des Diagramms auf Seite 76. Weiter als höchstens bis zum Punkte *e* kann die Ausdehnung der Verbrennungsgase nicht getrieben werden, da der Kolben hier bereits das Ende seines Hubes erreicht hat. Nun besitzen aber die Gase im Punkte *e* noch eine ziemlich beträchtliche Spannung, noch etwa 3 atm Überdruck über die Außenluft, eine Spannung also, mit welcher ältere Dampfmaschinen zum Beispiel erst anfangen zu arbeiten, und diese Spannung kann nur deswegen nicht ausgenutzt werden, weil eben der Kolben das Ende seines Hubes erreicht hat. Will man die Gase mit einem geringeren Enddrucke aus dem Cylinder entweichen lassen, so ist dies nur dadurch zu erreichen, daß man die Anfangsspannung der Gase niedriger wählt, was wiederum nur durch eine geringere Verdichtung des Gasgemisches zu erreichen ist. Gerade die Verdichtung des Gasgemisches soll aber aus Gründen, die später zu erörtern sind, so hoch wie möglich getrieben werden, woraus also ersichtlich ist, daß die Erfüllung beider Bedingungen, möglichst weitgehende Verdichtung des Gasgemisches und möglichst weitgehende Ausdehnung der Verbrennungsgase, in einem und demselben Cylinder nicht zu erreichen ist.

Der erste Abschnitt des Kreisprozesses: das **Ansaugen.** Schon bei der Besprechung der verschiedenen Betriebsmittel hatten wir gesehen, daß Leuchtgas, und ebenso natürlich Dowsongas und Gichtgas, die Fähigkeit besitzen, sich außerordentlich rasch mit Luft in jedem beliebigen Verhältnisse zu verbinden. Wir hatten gefunden, daß Leuchtgas in geschlossenem Raume anfängt unter Druckentwicklung zu verbrennen oder, wie man sagt, zu verpuffen, wenn ein Raumteil Gas mit etwa vier Raumteilen Luft vermischt ist, wir hatten gesehen, daß eine Mischung von einem Raumteil Gas mit etwa vierzehn Raumteilen Luft bei Außenluftspannung aufhört entzündbar zu sein und hatten endlich gefunden, daß es zwischen diesen beiden Grenzen ein sogenanntes stärkstes Gasgemisch giebt, ein Gemisch von einem Raumteil Gas mit fünf Raumteilen Luft, bei dessen Verbrennung in geschlossenem Raume der größte Druck

und die höchste Temperatur erzielt werden. Man könnte nun glauben, daß es zum Betriebe von Gasmaschinen am vorteilhaftesten wäre immer dieses stärkste Gasgemisch zu verwenden, dies ist aber durchaus nicht der Fall. Erstens nämlich würde die Verpuffung eines solchen Gasgemisches so schnell und heftig vor sich gehen, daß dadurch das Triebwerk der Maschine allzustark beansprucht würde, ferner aber hätte die bei einer solchen Verpuffung auftretende hohe Temperatur die Notwendigkeit zur Folge eine besonders kräftige Kühlung der Cylinderwandungen eintreten zu lassen, was wiederum mit einem großen Wärme-, das heißt Arbeitsverlust ganz unabänderlich verbunden wäre. Das Bestreben aller Erbauer von Gasmaschinen geht daher in neuerer Zeit dahin, möglichst stark verdünnte Gasgemische zu verwenden.

Die gewöhnliche Mischung in den neueren Ottoschen Gasmaschinen besteht in der Regel aus einem Raumteile Gas mit etwa sieben Raumteilen Luft, doch darf hierbei nicht außer acht gelassen werden, daß dieses Gemisch eine weitere Verdünnung noch dadurch erfährt, daß von dem vorhergehenden Auspuffabschnitt ein Teil der Verbrennungsgase in dem sogenannten Laderaume der Maschine zurückbleibt und sich mit der frisch angesaugten Ladung vermischt. Dabei versteht man unter Laderaum denjenigen Raum des Arbeitscylinders, welcher von dem verdichteten Gasgemische eingenommen wird, wenn der Kolben in seiner inneren Totlage steht. Man ersieht leicht, daß dieser Teil der im Cylinder nach dem Auspuffabschnitte zurückbleibenden Gase um so geringer sein wird, je kleiner der Raum ist, den das Gasgemisch nach seiner Verdichtung einnimmt, das heißt, je höher die Spannung ist, bis zu welchem die Verdichtung getrieben wird.

Die Vermischung der frisch angesaugten Ladung mit dem zurückbleibenden Teile der Verbrennungsgase hat übrigens außerdem noch zur Folge, daß durch die verhältnismäßig hohe Temperatur dieser Gase (im Mittel etwa 400 °) eine Erwärmung des frischen Gasgemisches stattfindet, was für eine gute Diffusion und damit für eine sichere Zündwirkung und bessere Verbrennung des Gemisches von Vorteil ist.

Zweiter Abschnitt: das **Verdichten.** Es ist leicht ersichtlich, daß die Kraftwirkung einer Verpuffung um so größer sein wird, je größer die Menge des Gasgemisches ist, welche

zur Verpuffung gelangt. Ist zum Beispiel die Menge des Gasgemisches bei sonst gleicher Beschaffenheit doppelt so groß, so ist natürlich auch die Kraftwirkung doppelt so groß, und so weiter fort. Um nun die Menge des angesaugten Gemisches zu steigern, könnte man den Weg einschlagen, daß man sehr lange Cylinder verwendete, den Kolben also einen sehr langen Weg zurücklegen ließe. Derartige Maschinen hätten aber einmal den Nachteil, daß ihre Abmessungen, namentlich in der Längsrichtung, zu bedeutend würden, ferner aber würde in erhöhtem Maße der Übelstand eintreten, der bereits auf Seite 72 bei der Lenoir-Maschine besprochen wurde, nämlich der, daß die bei der Verpuffung sich bildenden heißen Gase im Augenblicke der Verbrennung mit einem großen Teile der verhältnismäßig kühlen Cylinderwandungen in Berührung ständen, was einen starken Wärmeverlust unvermeidlich zur Folge hätte. Beide Übelstände vermeidet man, wenn man das angesaugte Gasgemisch vor der Entzündung verdichtet. Man sieht zunächst, daß auch hier die durch eine Verpuffung zu erreichende Kraftwirkung mit der Höhe der Verdichtung wächst; denn beträgt z. B. der obenerwähnte Laderaum der Maschine gerade 1 cbdcm, so wird die Kraftwirkung einer Verpuffung unter sonst gleichen Umständen um das 2, 3, 4 ... fache steigen, wenn ich in diesen Raum von 1 cbdcm 2, 3 4 ... cbdcm Gasgemisch von Außenluftspannung hineinpresse, das heißt wenn ich das Gasgemisch um das 2, 3, 4 ... fache verdichte. Daneben ist dann aber noch der Vorteil erreicht, daß dieses ganze Ladungsgemisch im Augenblicke der Zündung mit einem verhältnismäßig kleinen Teile der Cylinderwandung in Berührung steht. Ein weiterer großer Vorteil, der durch die Verdichtung erreicht wird, besteht in der erhöhten Zündfähigkeit des angesaugten Gasgemisches. Trotzdem sich nämlich, wie früher gezeigt wurde, Gas und Luft in kurzer Zeit sehr innig miteinander vermischen (diffundieren), ist die Gleichartigkeit des angesaugten Gemisches doch keine vollkommene. Man kann sich das in der Weise klar machen, daß man sich das Gas in unendlich viele, unendlich kleine Teilchen zerlegt denkt, deren jedes von einer gewissen Menge Luft umgeben ist. Durch die Verdichtung kommen alle diese von Luft umgebenen Gasteilchen näher aneinander und zwar um so näher, je weiter die Verdichtung getrieben wird, die Entzündung wird also viel rascher von einem Gasteilchen zum anderen fortschreiten

können, als wenn die Teilchen, wie es bei unverdichtetem Gemische der Fall ist, weiter voneinander entfernt sind. Infolge davon können aber auch wiederum viel stärker verdünnte Gasgemische verwendet werden, als ohne Verdichtung; diese Gasgemische verbrennen, wie aus der Tafel auf Seite 62 ersichtlich ist, mit einer bedeutend geringeren Anfangstemperatur, es braucht daher auch weniger Wärme durch das Kühlwasser abgeführt zu werden. — Die angeführten Betrachtungen machen es wohl zur Genüge klar, welche großen Vorteile die Verdichtung der Gasgemische vor der Zündung bietet, und in der That zeigt auch die theoretische Berechnung, daß der thermische Wirkungsgrad einer Gasmaschine (das Verhältnis der Differenz der zu- und abgeführten Wärmemenge zur gesamten zugeführten Wärmemenge), sie mag nun mit Leuchtgas, Dowsongas oder Gichtgas, mit Petroleum- oder Benzindämpfen u. dgl. betrieben werden, um so höher ausfällt, das heißt, daß der Wirkungsgrad um so besser wird, je höher die Verdichtung des Gasgemisches vor der Zündung getrieben wird.

In neueren Leuchtgasmaschinen geht man mit dieser Verdichtung bis auf etwa 6 atm Überdruck über die Außenluft, sehr häufig sogar noch höher, das heißt also, der Laderaum der Maschine wird so groß gewählt, daß das mit Außenluftspannung angesaugte Gasgemisch am Ende des Verdichtungsabschnittes, kurz vor der Zündung, diese Spannung erhält.

Treibt man bei der Verwendung gewöhnlichen Leuchtgases die Verdichtung wesentlich höher, so kann infolge der bei der Verdichtung stattfindenden Erhitzung des Gasgemisches leicht die Gefahr einer vorzeitigen Selbstentzündung eintreten. Eine solche muß aber auf alle Fälle vermieden werden, da eine Zündung vor dem inneren Totpunkte der Maschine den Kolben und damit das Schwungrad plötzlich nach der entgegengesetzten Seite drehen würde und der dadurch auftretende heftige Stoß gegebenen Falls die ganze Maschine zertrümmern könnte. Wesentlich höher mit der Verdichtung hinaufzugehen wäre nur dann möglich, wenn man entweder das Ladungsgemisch stärker verdünnte, wodurch aber wiederum die Sicherheit der Zündwirkung beeinträchtigt wird, oder wenn man Gase von geringerem Heizwerte verwendete. Derartige Gase sind, wie wir gesehen hatten, das Kraftgas (Dowsongas) und vor allen Dingen das Gichtgas. In der That arbeiten neuere Kraftgasmaschinen und namentlich,

Gichtgasmaschinen mit wesentlich höheren Verdichtungsspannungen als oben angegeben (11 atm und darüber), woraus sich ergiebt, daß der thermische Wirkungsgrad, der ja nach unseren oben angestellten Betrachtungen mit der Verdichtung wächst, bei Kraftgasmaschinen und Gichtgasmaschinen ein besserer sein muß, als der der Leuchtgasmaschinen. Durch diesen höheren Wirkungsgrad wird der Nachteil des geringeren Heizwertes dieser Gase gegenüber dem Leuchtgas zum großen Teile wieder ausgeglichen.

Dritter Abschnitt: **Zündung** und **Verpuffung.** Über die Mittel, welche dazu dienen, eine Zündung des Gasgemisches zu bewirken — Flammenzündung, Glührohrzündung, elektrische Zündung —, soll später im Zusammenhange gesprochen werden, hier möge nur der Zündungsvorgang an sich kurz erörtert werden. Die Zündung erfolgt bei allen neueren Gasmaschinen im inneren Totpunkte der Maschine, oder wenigstens ganz unmittelbar danach, und es wurde schon früher darauf hingewiesen, daß damit zwei wichtige, für eine gute Wärmeausnutzung notwendig zu stellende Bedingungen erfüllt sind: eine Verbrennung bei möglichst kleinem, möglichst gleichbleibendem Volumen.

Die Art und Weise, in welcher die Zündung in der Gasmaschine erfolgt, ist lange Zeit hindurch ein viel umstrittener Punkt gewesen und ist auch heute noch nicht ganz klar gestellt. Thatsache ist, daß die Verbrennung des Gasgemisches nicht augenblicklich geschieht, wie sich sehr deutlich aus den Diagrammen ergiebt, welche man von der Maschine selbst vermittelst des Indikators aufzeichnen läßt. Bei allen diesen Diagrammen steigt nämlich die Spannung *c, d* (Abb. 8, S. 76) nur in ihrem untersten Teile senkrecht an, während der obere Teil sich etwas nach rechts, daß heißt nach der Richtung der Ausdehnungslinie hinüberneigt, so daß die höchste Spannung erst erreicht ist, wenn der Kolben einen wenn auch kleinen Weg vom Totpunkte aus zurückgelegt hat. Ob aber die Verbrennung gleichzeitig mit der Erreichung der höchsten Spannung, oder kurz darnach, oder erst im Verlaufe der Ausdehnung der Gase vollständig beendet ist, darüber gehen die Ansichten auseinander. Untersucht man nämlich bei den von der Maschine abgenommenen Diagrammen die Art der Kurve, nach welcher die Ausdehnung der Gase erfolgt, so findet man die merkwürdige Thatsache, daß diese Kurve nicht nur in

den meisten Fällen ziemlich genau mit der adiabatischen Linie übereinstimmt, sondern sogar oftmals oberhalb der Adiabate verläuft, das heißt sich der Isotherme nähert. Nun wissen wir aber aus unseren früheren Betrachtungen, daß eine Ausdehnungslinie nur dann eine Isotherme sein kann, wenn während der Ausdehnung Wärme zugeführt wird (vgl. Seite 19) und zwar so viel Wärme, daß die Temperatur während der Ausdehnung auf gleicher Höhe bleibt. Wir werden also auch schließen können, daß eine Ausdehnungskurve um so mehr oberhalb der Adiabate verlaufen und sich der Isotherme nähern wird, je mehr — bis zu der eben angegebenen Grenze — während der Ausdehnung Wärme zugeführt wird. Thatsächlich wird ja nun aber in der Gasmaschine durch das Kühlwasser eine große Menge Wärme abgeführt, man müßte also eigentlich annehmen, daß die Ausdehnungskurve noch unterhalb der Adiabate verläuft. Wenn daher die Ausdehnung trotzdem adiabatisch erfolgt, so folgt daraus mit Notwendigkeit, daß während der Ausdehnung doch noch Wärme zugeführt wird, nur ist, wie erwähnt, noch nicht mit Sicherheit ermittelt, ob diese Wärme eine Folge des sogenannten Nachbrennens ist, das heißt einer nachträglichen Verbrennung des Gasgemisches während der Ausdehnung, oder ob die Wärme den Cylinderwandungen entstammt, welche bei dem raschen Gange der Maschine nicht imstande sind, ihre Wärme vollständig an das Kühlwasser abzugeben. Erhöht man während des Ganges der Maschine die Verdünnung des Gasgemisches, indem man weniger Gas zuströmen läßt, und läßt dann die Maschine vermittelst des Indikators die Diagramme aufzeichnen, so sieht man, daß die Linie *c*, *d* (Abb. 8) sich immer weiter nach rechts hinüber neigt, die Verbrennung also immer später beendet ist, je weiter die Verdünnung des Gasgemisches getrieben wird. Damit sinkt aber auch sofort der Wirkungsgrad der Maschine, denn die Gase haben nicht mehr genügend Zeit sich auszudehnen, sie verlassen die Maschine mit hoher Spannung und hoher Temperatur, ihre Wärme wird also unvollkommen ausgenutzt.

Vierter Abschnitt: **Auspuff.** Wenn der Kolben bei dem Arbeitsabschnitt etwa $^9/_{10}$ seines Hubes zurückgelegt hat, öffnet sich das Ausströmventil, die Gase, welche in diesem Augenblicke noch etwa eine Spannung von 5 atm haben, verlieren diese Spannung bis zum Ende des Hubes vollständig und

werden dann bei der Rückkehr des Kolbens ungefähr mit Außenluftspannung und einer Temperatur von rund 400° C aus der Maschine ausgetrieben. Es wurde schon früher darauf hingewiesen, daß hiermit ein beträchtlicher Wärme-, das heißt Arbeitsverlust verbunden ist, der sich deswegen nicht vermeiden läßt, weil eben Verdichtung und Ausdehnung in einem und demselben Cylinder stattfinden. Nun liegt allerdings der Gedanke nahe, am Ende des Arbeitsabschnittes die immer noch verhältnismäßig hoch gespannten Gase nicht in die freie Luft, sondern in einen zweiten Cylinder hinüberzudrücken, wo durch eine weitere Ausdehnung das Arbeitsvermögen vollständig ausgenutzt werden könnte. Der Grund, warum diese in der That ausgeführten Versuche bisher gescheitert sind, liegt darin, daß während des ganzen Ausströmens und namentlich während des Überströmens in den zweiten Cylinder die Gase so viel mit gekühlten Cylinderwandungen und anderen kalten Wandungen in Berührung kommen, daß sie den größten Teil der ihnen innewohnenden Wärme verlieren und daher in dem zweiten Cylinder nur noch eine kaum nennenswerte Arbeit zu leisten imstande sind.

Auch der Versuch, durch eine Abänderung des Kurbeltriebes den Kolben während des Ansaugens einen kürzeren Weg zurücklegen zu lassen als während des Arbeitshubes und dadurch eine weitergehende Ausdehnung zu schaffen, hat wegen des sehr verwickelten Getriebes zu keinem nennenswerten Erfolge geführt, so daß derartige Maschinen bis jetzt nur ausnahmsweise zur Ausführung gelangt sind.

Zweitakt-Maschinen.

Zum Schluß möge noch kurz erwähnt werden, daß schon frühzeitig versucht wurde, den Viertakt bei den Gasmaschinen durch den sogenannten Zweitakt zu ersetzen, das heißt durch eine Arbeitsweise, bei welcher eben nicht erst bei jedem *vierten*, sondern schon bei jedem *zweiten* Hube des Kolbens, oder mit anderen Worten bei jeder Umdrehung der Maschinenwelle eine Verpuffung und damit ein Arbeitsantrieb der Maschinenwelle stattfindet.

Es ist offenbar, daß derartige Maschinen gegenüber den Viertaktmaschinen mancherlei Vorzüge besitzen, so z. B. den,

daß ihr Gang bedeutend gleichmäßiger ist als der der Viertaktmaschinen, aus Gründen, die bei der Besprechung der Viertaktwirkung eingehend erörtert wurden; dann aber müssen auch die Zweitaktmaschinen, wie eine einfache Überlegung ergiebt, bei gleicher Größe des Arbeitscylinders und gleicher Umdrehzahl die doppelte Leistung ergeben, wie eine Viertaktmaschine, weil eben in der Zeiteinheit die doppelte Anzahl von Arbeitshüben stattfindet. Sie werden somit bei gleicher Leistung bedeutend kleiner, daher billiger ausfallen als die Viertaktmaschienen.

Der zunächstliegende Weg wäre der, die Gasmaschinen nach dem Vorbilde der Dampfmaschinen doppeltwirkend zu bauen, das heißt den Viertakt nicht bloß auf einer, sondern auf beiden Seiten des Kolbens zur Ausführung zu bringen. Die Hauptschwierigkeiten einer solchen Bauart bestehen zunächst in der Durchführung der Kolbenstange durch den vorderen Cylinderdeckel, namentlich in Anbetracht der sehr hohen Pressungen, welche in der Gasmaschine auftreten, dann aber hauptsächlich in dem Umstande, daß der Kolben bei dieser Bauart nicht mehr auf einer Seite mit der Außenluft in Verbindung steht und dadurch eine stete Abkühlung erfährt, sondern daß er nun auf beiden Seiten den sehr hohen Temperaturen ausgesetzt ist. Die genannten Schwierigkeiten können zwar im allgemeinen als überwunden betrachtet werden, denn es hat z. B. die Firma Gebrüder Körting eine solche doppeltwirkende (Viertakt-)Gasmaschine gebaut, in welcher der Kolben auf eine sinnreiche Weise während des Ganges der Maschine in seinem Inneren durch Wasser gekühlt wird. Die Maschine soll ruhig und zuverlässig arbeiten, jedoch stellt sich ihr Bau nach den eigenen Angaben der Firma teurer als eine Zwillingsmaschine, das heißt teuerer als zwei nebeneinander liegende einfachwirkende Viertaktmaschinen, gleicher Leistung.

Ein anderer Weg, die Gasmaschinen im Zweitakt arbeiten zu lassen ist der, daß man den Viertakt nicht in einem einzigen Cylinder zur Ausführung bringt, sondern daß man ihn gewissermaßen auf mehrere Cylinder verteilt. Die Wirksamkeit derartiger Maschinen ist in kurzem etwa die, daß Gas und Luft in eigenen Pumpencylindern angesaugt, verdichtet und dann in den eigentlichen Arbeitscylinder hinübergedrückt werden, wo das Gemisch dann gerade so wie in den Viertaktmaschinen zur Arbeitsleistung verwendet wird. Es hat sich gezeigt, daß sich die Her-

stellung solcher Maschinen nur für große Arbeitsleistungen lohnt, da die Kosten für die Ausführung mehrerer Cylinder bei kleineren Maschinen den Vorteil der Zweitaktwirkung wieder aufheben. Für große Arbeitsleistungen dagegen sind derartige Maschinen (z. B. nach dem Patente von v. Oechelhäuser und Junkers) bereits zur Ausführung gelangt und es soll eine solche Maschine von 600 PS (genauer gesagt zwei solcher Maschinen zu je 300 PS), welche in Hoerde i. W. unter Verwendung von Gichtgas vor kurzer Zeit in Gang gesetzt wurde, bis jetzt sehr gute Betriebsergebnisse geliefert haben.*)

Der Aufbau der Gasmaschine.

Es ist natürlich in dem Rahmen des vorliegenden Bändchens vollständig unmöglich, eine Übersicht über die verschiedenen Bauarten von Gasmaschinen zu geben, die sich im Laufe der Zeit aus dem ursprünglichen Otto entwickelt haben. Der Zweck unserer Betrachtung ist ja aber auch nur der, ein Verständnis für die Art und Weise der Krafterzeugung in den neueren Wärmekraftmaschinen zu gewinnen, und da in dem vorhergehenden Abschnitte ausführlich erörtert wurde, auf welche Weise in der Gasmaschine die zugeführte Wärme in Arbeit umgesetzt wird, so dürfte es genügen, an einem durch schematische Skizzen veranschaulichten Beispiele den allgemeinen Aufbau einer Gasmaschine und die zu ihrer Arbeitsweise nötigen Einzelheiten in Kürze zu erläutern.

Der allgemeine Aufbau ist bei der überwiegenden Mehrzahl der heutigen Gasmaschinen im wesentlichen ganz derselbe geblieben wie bei dem ersten Otto. Als Vorbild diente hier, wie bei der Lenoir-Maschine, die Dampfmaschine, deren Einzelheiten wir zum großen Teile bei der Gasmaschine wiederfinden. In einem Cylinder bewegt sich ein dicht an die Wandungen

*) Während des Druckes dieser Bogen (Ende Mai d. J.) erschien in Fachblättern die Mitteilung, daß es der Firma Gebrüder Körting gelungen sei eine Gasmaschine zu bauen, bei welcher gerade so wie bei der doppeltwirkenden Dampfmaschine bei jedem Hingange und bei jedem Hergange des Kolbens eine Kraftwirkung auf den Kolben ausgeübt wird. Gemäß den obigen Erörterungen wäre eine solche Maschine als Eintakt-Gasmaschine zu bezeichnen, und wenn sie sich im Betriebe bewähren sollte, so wäre damit wiederum ein weiterer großer Fortschritt im Gasmaschinenbau erreicht.

anschließender Kolben, dessen hin- und hergehende Bewegung durch eine sogenannte Schubstange, auch wohl Pleuelstange genannt (*P* Abb. 9 u. 10), auf eine Kurbel *K* übertragen und

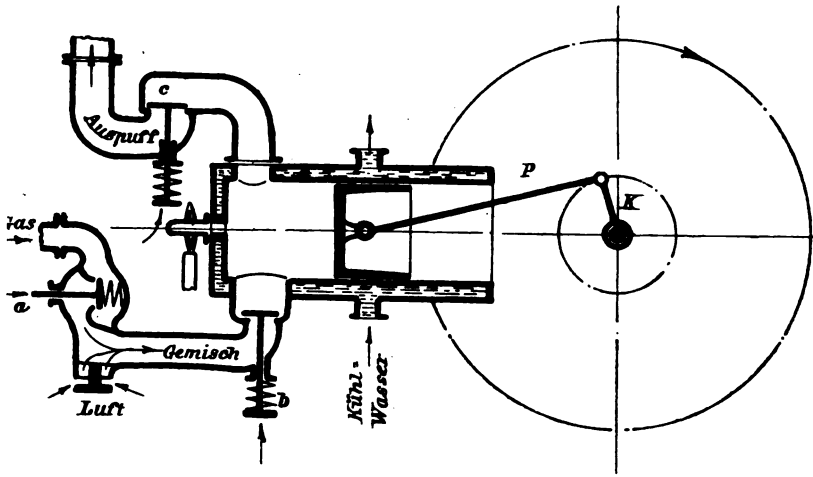


Abb. 9.

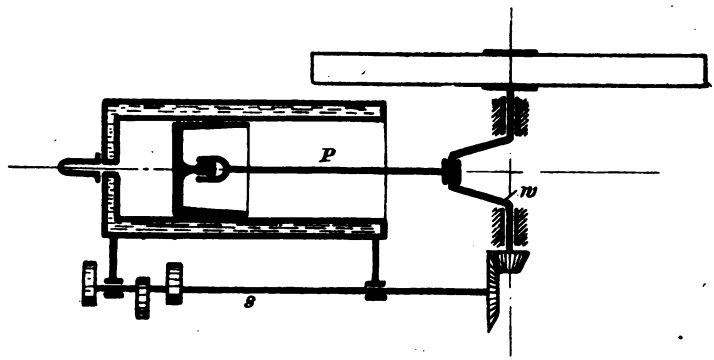


Abb. 10.

so in eine umlaufende Bewegung umgesetzt wird. Die Kurbel sitzt auf einer mehrfach gelagerten Welle, welche an einer oder zwei Stellen die oben besprochenen Schwungräder, außerdem

aber noch eine Riemenscheibe trägt, vermittelst deren, unter Zuhilfenahme eines Riemens, die Arbeit auf irgend eine andere Welle übertragen wird. An die Stelle der bei der Dampfmaschine häufig verwendeten Kurbel tritt hier in fast allen Fällen die sogenannte gekröpfte Welle (*w* Abb. 10), das heißt eine Welle, welche so gebogen ist, daß die Kurbel sich nicht an einem Ende, sondern in der Mitte befindet, eine Anordnung, durch welche eine etwas größere Einfachheit im ganzen Aufbau der Maschine erreicht wird. Die Lage des Cylinders ist in der Mehrzahl der Fälle eine wagerechte. Man nennt derartige Maschinen liegende Maschinen, im Gegensatze zu den stehenden Maschinen, bei welchen der Cylinder eine lotrechte Lage erhält. Die letztgenannte Bauart wird indessen nur bei kleineren Maschinen angewendet und auch nur dann, wenn es sich darum handelt eine Maschine herzustellen, welche einen möglichst geringen Platz einnimmt. Abb. 11 zeigt eine Maschine stehender Bauart von Gebrüder Körting mit obenliegender Schwungradwelle, während Abb. 12 die Skizze einer stehenden Maschine mit untenliegender Schwungradwelle darstellt. Ihrem Werte nach unterscheiden sich die beiden letztgenannten Maschinenarten nur dadurch voneinander, daß die Maschinen mit untenliegender Schwungradwelle etwas standfester sind als die mit obenliegender Schwungradwelle. Die Bauart mit liegendem Cylinder muß als die bessere bezeichnet werden, da derartige Maschinen bedeutend standfester sind und vor allen Dingen eine bessere Zugänglichkeit zu allen ihren Teilen gewähren, was für eine gute Instandhaltung der Maschine von nicht zu unterschätzendem Vorteile ist.

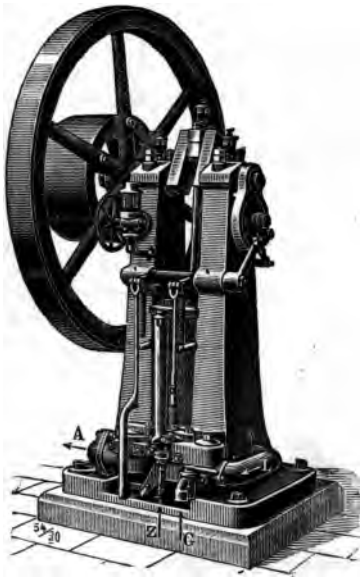


Abb. 11.

Bemerkenswert ist es, daß bei Gasmaschinen, namentlich bei denen kleinerer Leistung, in der Regel eine besondere Gradführung des Kolbens nicht ausgeführt wird. Der Kolben erhält vielmehr eine solche Länge, daß dadurch eine besondere Gradführung entbehrlich wird, und somit auch die ganze Länge erspart wird, welche sonst für eine eigene Kolbenstange und einen besonderen Kreuzkopf mit Gleitbahn nötig wäre (Abb. 9 u. 10). Die Folge ist, daß derartige Maschinen bedeutend kürzer und somit auch billiger werden, während man andererseits den Nachteil mit in Kauf nehmen muß, daß der Zapfen, um welchen die Schubstange in dem Kolben schwingt, nur sehr schwer zugänglich wird.

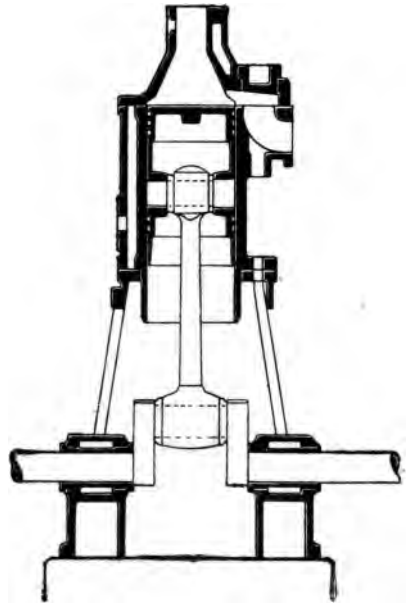


Abb. 12.

Eine allen Gasmaschinen eigentümliche Einrichtung, durch welche sie sich von der Dampfmaschine wesentlich unterscheiden, ist die Kühlung des Cylinders, deren Notwendigkeit früher besprochen wurde. Sie geschieht, wie ebenfalls schon erwähnt wurde, in der Regel in der Weise, daß der ganze Arbeitscylinder mit einem zweiten Cylinder umgeben und durch den hierdurch entstandenen Zwischenraum kaltes Wasser in ununterbrochenem Strome hindurchgeleitet wird. Nur bei ganz kleinen Gasmaschinen und bei den später zu besprechenden Petroleum- und Benzinmaschinen hat man versucht, die Wasserkühlung ganz oder teilweise dadurch zu ersetzen, daß man den Cylinder außen mit einer Anzahl Rippen versieht, welche der Außenluft eine große Oberfläche darbieten und auf diese Weise eine Ableitung der erzeugten Wärme in die Luft ermöglichen sollen. Daß die Notwendigkeit der Wasserkühlung ein der Gasmaschine anhaften-

des notwendiges Übel ist, wurde bereits eingehend besprochen. Sie wird es um so mehr, als der Bedarf an Kühlwasser gar kein unbedeutender ist (er beträgt etwa 30—40 l für die Std-PS), und natürlich die Kosten für die Beschaffung des nötigen Wassers zu den allgemeinen Betriebskosten hinzugerechnet werden müssen. Da diese Kosten manchmal ganz beträchtliche sein können, z. B. dann, wenn man auf städtisches Wasserleitungswasser angewiesen ist, so hat man versucht, sich in anderer Weise zu helfen. Warmes Wasser ist bekanntlich leichter als kaltes Wasser. Verbindet man daher ein hochstehendes Wassergefäß in der Weise mit dem Kühlwassermantel einer Gasmaschine, daß von dem Boden des Gefäßes ein Rohr nach dem unteren Teile des Kühlwassermantels geht, während der obere Teil des Kühlwassermantels durch ein Rohr mit dem oberen Teile des Gefäßes in Verbindung steht, so wird sich sehr bald ein fortdauernder Wasserumlauf einstellen, indem das kalte Wasser unten in den Cylindermantel eintritt und oben als heißes Wasser durch das obere Rohr in das Gefäß zurückkehrt, wo es sich an der Luft zum Teil wieder abkühlt. Da aber natürlich die Temperatur des Wassers in dem Gefäße um so schneller eine unzulässige Höhe erreichen wird, je kleiner das Gefäß ist, größere Maschinen daher zu umfangreiche Gefäße erfordern würden, so ist diese Art der Kühlung im allgemeinen nur für kleinere Gasmaschinen verwendbar.

Zu den wichtigsten Teilen der Gasmaschine gehört die Steuerung, unter der man zusammenfassend alle diejenigen Vorrichtungen versteht, durch welche die vorher eingehend beschriebenen Arbeitsabschnitte erreicht werden. Wie wir gesehen hatten, tritt ein jeder solcher Arbeitsabschnitt immer erst bei jedem vierten Hube, das heißt bei jeder zweiten Umdrehung der Maschine ein, es werden mithin alle die erwähnten Vorrichtungen, welcher Art sie auch sein mögen, nicht unmittelbar von der Hauptwelle der Maschine angetrieben werden dürfen, da sie ja sonst bei jeder Umdrehung der Maschine ihre Wirkung ausüben würden. Gewöhnlich treibt daher die Hauptwelle der Maschine zunächst eine zweite, meist senkrecht zu ihr verlaufende kleinere Welle, und zwar durch Verwendung geeigneter Zahnräder in der Weise an, daß diese zweite Welle, Steuerwelle genannt, in der Zeiteinheit nur halb so viel Umdrehungen macht als die Hauptwelle. Von dieser Steuerwelle (*s* Abb. 10)

aus werden dann die einzelnen Schieber, Ventile u. dgl. in Bewegung gesetzt, und es ist leicht ersichtlich, daß dadurch alle diese Steuervorrichtungen immer erst bei jeder zweiten Umdrehung der Maschine in Wirksamkeit treten.

Bei dem ursprünglichen Otto geschah das Einlassen des Gasgemisches in die Maschine, sowie die Zündung — eine sogenannte Schieberflammenzündung — mit Hilfe eines Schiebers, welcher von der oben genannten Steuerwelle angetrieben wurde. Diese Bauart ist heute gänzlich verlassen worden, erstens einmal, weil für die Bewegung des Schiebers infolge der Reibung eine bedeutende Arbeit erforderlich war, ferner aber auch weil der Schieber schwer dicht zu halten war und, falls er einmal durch Zufall oder Unachtsamkeit beschädigt wurde, nur von fachkundigen Leuten wiederhergestellt werden konnte. Heutzutage wendet man ausschließlich Ventile an und zwar kann man bei jeder Gasmaschine in der Regel drei verschiedene Ventile unterscheiden — das Gasventil (*a*), das Gemischeinlaßventil (*b*) und das Auslaßventil (*c*) —, deren Wirkungsweise aus der schematischen Abb. 9 ersichtlich ist. Die Anordnung der Ventile, d. h. ihre Lage zueinander, sowie die Lage in Bezug auf die Maschine, kann selbstverständlich eine außerordentlich mannigfaltige sein. In der Abbildung, die ja nur die Wirkungsweise der einzelnen Ventile möglichst deutlich veranschaulichen soll, ist auf eine zweckmäßige Anordnung natürlich gar keine Rücksicht genommen worden.

Bei der in der Abbildung gewählten Anordnung gestaltet sich nun das Spiel der Ventile folgendermaßen:

Bei Beginn des ersten Abschnittes, das heißt bei Beginn des Ansaugens, wird von der Maschine das Gasventil *a* geöffnet, indem ein Hebel in der später noch genauer zu besprechenden Weise auf die Führungsstange des Ventiles drückt. Gleichzeitig wird auch das Ventil *b* geöffnet, oder es öffnet sich selbstthätig infolge der Saugwirkung des Kolbens, worauf durch die in der Abbildung gezeichnete Öffnung Luft angesaugt wird, welche sich mit dem durch das Ventil *a* hindurchtretenden Gase mischt und als Gasgemisch in den Cylinder tritt. Mitunter findet eine Mischung der angesaugten Luft mit dem Gase auch erst innerhalb des Ventiles *b* statt, man nennt dann derartige Ventile Mischventile. Durch längeres oder kürzeres Offenhalten, durch weiteres oder weniger weites Öffnen des Ventiles *a* läßt

sich dabei die Stärke des Gasgemisches in beliebiger Weise regeln. Hört die Saugwirkung des Kolbens auf, so schließt sich das Ventil *b* und da auch das Auslaßventil geschlossen bleibt, so wird bei dem Rückgange des Kolbens das in dem Cylinder enthaltene Gasgemisch verdichtet. Ist die Verdichtung beendet, das heißt ist der Kolben in seiner inneren Totlage angekommen, so findet die Zündung statt, das Gemisch verpufft und treibt den Kolben vorwärts, während alle Ventile geschlossen sind. Kurz vor dem Ende des Arbeitshubes wird durch einen Hebel in geeigneter Weise das Auslaßventil gehoben und so lange offengehalten, bis der Kolben wiederum in seiner inneren Totlage angelangt ist, worauf mit dem Schlusse des Ventiles *c* und der Öffnung der Ventile *a* und *b* das Spiel von neuem beginnt.

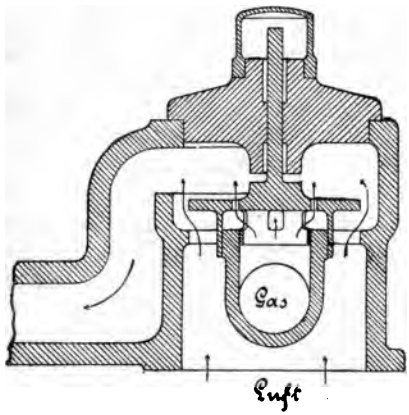


Abb. 13.

Die eben besprochene Ventilanordnung wird bisweilen (z. B. bei den Gasmaschinen von Gebrüder Körting) in der Weise abgeändert, daß an Stelle des gesteuerten Gasventiles *a* ein selbstthätiges Mischventil tritt, d. h. ein Ventil, welches gleichzeitig Luft- und Gaseintritt in die Maschine regelt und welches allein durch die Saugwirkung des Kolbens geöffnet wird. Die beiden anderen Ventile, das Gemischeinlaßventil und das Auslaßventil bleiben dagegen wie bei der vorigen Anordnung bestehen.

Ein solches Mischventil der eben besprochenen Art zeigt Abb. 13. Wie man sieht, besteht das Ventil aus einer Art Glocke mit verschiedenen Löchern, durch welche bei gehobener Glocke (die Stellung, wie sie in der Abbildung gezeichnet ist) das Gas eintritt, während um den Rand der Glocke herum die von dem Kolben angesaugte Luft hereindringt. Man sieht auch, daß gerade dieses Ventil den Vorteil besitzt, daß das Verhältnis des angesaugten Gases zur angesaugten Luftmenge, also

das Mischungsverhältnis, sich stets gleich bleibt, mag sich die Ventilglocke mehr oder weniger heben, denn der Querschnitt der in dem Deckel der Glocke angebrachten Löcher und der ringförmige Querschnitt zwischen Glockenrand und Ventilgehäuse behalten unter allen Umständen dieselbe Größe.

Die Zündung. Da von der sicheren Wirkung der Zündvorrichtung vor allen Dingen ein gutes Arbeiten der Gasmaschine abhängt, so hat man gerade hierauf bei dem Bau einer Gasmaschine sein Augenmerk zu richten und muß dabei die beiden Bedingungen zu erfüllen suchen, daß die Zündwirkung mit möglichster Einfachheit eine große Betriebssicherheit verbindet, so daß ein Versagen nur in den allerseltensten Fällen eintreten kann.

Die alte elektrische Zündung der Lenoir-Maschine unter Verwendung galvanischer Elemente erfüllte eigentlich keine dieser Bedingungen; sie war sehr umständlich, unzuverlässig, erforderte große Aufmerksamkeit in der Bedienung und wenn sie einmal in Unordnung geraten war, was nicht selten eintrat, konnte sie in der Regel durch den Maschinisten selber nicht wieder in Stand gesetzt werden. Besser war schon die bei den späteren Maschinen und auch von Otto angewendete, wiederholt erwähnte Schieberflammenzündung, deren Einrichtung im wesentlichen die folgende war: In die Höhlung eines sich hin- und herbewegenden Schiebers wurde ein Luft- und Gasgemisch geleitet und dieses Gemisch an einer ständig brennenden Flamme entzündet. Unmittelbar darauf wurde die das brennende Gasgemisch enthaltende Schieberhöhlung von der Außenluft abgeschnitten und mit dem Cylinderinneren zunächst durch eine ganz feine Öffnung in Verbindung gebracht, um einen Druckausgleich zwischen der Schieberhöhlung und dem mit verdichteten Gasgemisch angefüllten Laderaume des Cylinders herzustellen. Dann erst wurde die Schieberhölung vollständig mit dem Innern des Laderaumes in Verbindung gebracht und auf diese Weise eine Zündung des Arbeitsgemisches im Cylinder bewirkt. Auch diese Zündungsart wird bei den neueren Gasmaschinen nicht mehr angewendet, da sie einerseits zu umständlich, andererseits nicht zuverlässig genug ist.

Heutzutage geschieht die Zündung in den Gasmaschinen, ebenso wie in den später zu besprechenden Petroleum- und Benzinmaschinen (mit Ausnahme der Dieselmaschine), ausschließlich ent-

weder durch einen elektrischen Funken, welcher in dem Augenblicke, wo er benötigt wird, von einer kleinen magnet-elektrischen Maschine erzeugt wird, oder mit Hilfe eines sogenannten Glührohres, dessen Einrichtung und Wirksamkeit die folgende ist: An dem Hinterteile des Arbeitscylinders ist ein kleines, auf einer Seite geschlossenes Röhrchen befestigt, welches, in der Regel aus Porzellan bestehend, von außen durch eine Flamme erhitzt und in rotglühendem Zustande erhalten wird. Ist nun das Innere des Röhrchen von dem Laderaum des Cylinders durch einen Hahn, ein Ventil oder einen Schieber getrennt, in der Weise, daß das im Cylinder befindliche Ladungsgemisch nur nach Öffnung des Ventiles u. s. w. in das Röhrchen eindringen kann, so spricht man von einer gesteuerten Glührohrzündung. Die Wirkung einer solchen ist ohne weiteres verständlich. Im Augenblicke, wo die Zündung eintreten soll, wird das Ventil, der Hahn oder der Schieber geöffnet, das Ladungsgemisch tritt in das Röhrchen ein und entzündet sich an dessen glühenden Wandungen. Eine andere Art gesteuertes Glührohr von Gebrüder Körting stellt Abb. 14 dar. In dem Innern des eigentlichen Glührörchens *a*, welches in gewöhnlicher Weise durch eine Flamme von außen erhitzt wird, steckt ein an beiden Seiten offenes Platinröhrchen. Der Innenraum dieser beiden Röhrchen steht nun, wie aus der Abbildung ersichtlich ist, einmal mit dem Cylinderinneren, dann aber mit einem engen, nach außen mündenden Kanal in Verbindung, welcher durch einen kleinen Kolben *c* verschlossen werden kann. Solange dieser Kolben den Kanal verschlossen hält, kann (während des Verdichtungsabschnittes) eine Zündung des Gasgemisches nicht stattfinden, weil sich im Innern der beiden Röhrchen und in den angrenzenden Kanälen nur unentzündbare Verbrennungsgase von dem vorhergehenden Arbeitshube befinden. Am Ende des

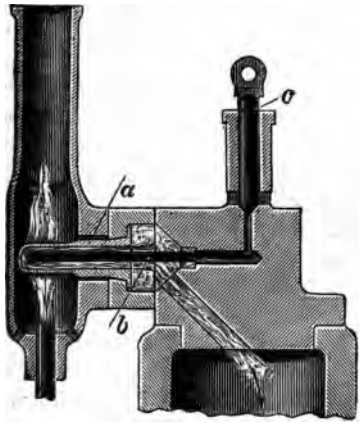


Abb. 14.

Verdichtungsabschnittes, kurz bevor die Entzündung eintreten soll, wird nun der Kolben *c* ein wenig gehoben, die unverbrennbaren Gase werden aus dem Innern der Röhrchen herausgedrängt, frisches Gasgemisch dringt nach und sowie dann der Kolben *c* den Kanal abschließt, schlägt die Zündung in das Innere des Cylinders zurück.

Es ist jedoch auch möglich unter Vermeidung jeder Absperrvorrichtung ein solches Glührörchen in ständiger Verbindung mit dem Cylinderinnern zu lassen (Abb. 9, S. 87), wodurch die ganze Anordnung natürlich wesentlich vereinfacht wird. Im ersten Augenblicke scheint es freilich, als wenn ein solches offenes Glührörchen den früher beschriebenen Arbeitsvorgang unmöglich machen würde, da ja, wie man zunächst denken muß, das frisch angesaugte Gasgemisch sich sofort, oder jedenfalls gleich beim Beginn der Verdichtung, an den glühenden Wandungen des offenen Röhrchens entzünden müßte. Dem ist aber nicht so, vielmehr ist der Vorgang folgender: Hat eine Zündung stattgefunden, so ist am Ende des Auspuffabschnittes das Glührörchen mit verbrannten, nicht mehr entzündbaren Gasen gefüllt, die dann auch während des Ansaugens der frischen Ladung nicht aus dem Röhrchen entweichen können, da es ja auf der anderen Seite geschlossen ist. Erst während des Verdichtungsabschnittes werden die in dem Röhrchen befindlichen, nicht mehr brennbaren Gase ebenfalls verdichtet und in den hinteren Teil des Röhrchens gedrückt, während frisches Gasgemisch in das Röhrchen eindringt. Die Einrichtung läßt sich nun leicht so treffen, daß gerade erst in dem Augenblicke, in welchem die Verdichtung ihren höchsten Grad erreicht hat, das heißt im inneren Totpunkte der Maschine, die in das Röhrchen eingedrungene frische Ladung den heißesten Teil des Röhrchens erreicht hat, so daß in diesem Augenblicke erst die Zündung erfolgt. In der That hat die Erfahrung gelehrt, daß die Zündwirkung derartiger offener Glührohre eine vollkommen sichere ist, und da die ganze Bauart eine außerordentlich einfache ist und eine Ausbesserung, die nur in dem Ersatze eines gesprungenen Glührörchens besteht, von jedermann leicht und schnell ausgeführt werden kann, hat sich diese Art der Zündung, die zuerst von Daimler bei seinen Benzinmaschinen angewendet wurde, namentlich für kleinere Maschinen schnell Eingang verschafft.

Die Regulierung. Nehmen wir an, wir hätten eine Gasmaschine vor uns, welche bei 200 Umdrehungen, das heißt also bei 100 Doppelhüben oder Arbeitshüben in der Minute, gerade eine Arbeit von 10 PS zu leisten imstande wäre. Bliebe der von der Maschine zu überwindende Arbeitswiderstand fortwährend der gleiche, bleibt die Beschaffenheit des Gases und die Zusammensetzung des Gasgemisches fortdauernd dieselbe, so würde die Maschine vollständig gleichmäßig mit 200 Umdrehungen in der Minute arbeiten. Nehmen wir dagegen an, der Arbeitswiderstand würde durch irgend einen Zufall plötzlich geringer und betrage eine kurze Zeit hindurch nur 9 PS. Was wäre die Folge? Da die Maschine nach wie vor eine Arbeitsleistung von 10 PS entwickelt, so wird die eine überschüssige PS dazu verwendet werden, das Schwungrad der Maschine und damit die ganze Maschine in schnellere Umdrehung zu versetzen. Arbeitsleistung ist aber, wie wir in der Einleitung (S. 5) gesehen hatten, ein Produkt aus Kraft × Weg in der Zeiteinheit. Da nun bei erhöhter Umdrehungszahl der Kolben der Maschine schneller läuft, mit anderen Worten einen größeren Weg in der Zeiteinheit zurücklegt, so wird die Maschine auch mehr Arbeit leisten als 10 PS. Diese Mehrleistung an Arbeit kann wiederum nur dazu verwendet werden, die Maschine in schnellere Umdrehung zu versetzen, wodurch dann wieder noch mehr Arbeit geleistet wird, und so weiter fort. Die Maschine würde immer schneller rasen, sie würde, wie man sagt, durchgehen und die Geschwindigkeitssteigerung würde solange andauern, bis durch die immer stärker wirkende Centrifugalkraft das Schwungrad der Maschine in Stücke zerrissen würde. Derartige Zertrümmerungen — man nennt sie Schwungradexplosionen — kommen leider ab und zu im Maschinenbetriebe vor und sind stets von ähnlichen schrecklichen Folgen begleitet, wie die Explosionen eines Dampfkessels, da die mit furchtbarer Gewalt fortgeschleuderten Schwungradteile geschoßartig alles zertrümmern, was sich ihnen in den Weg stellt. Nehmen wir den umgekehrten Fall an, daß der Arbeitswiderstand der Maschine plötzlich wächst, und sehen wir zu, was dann eintritt. Um die erhöhte Arbeitsleistung zu decken, muß dem Schwungrade ein Teil des in ihm aufgespeicherten Arbeitsvermögens entzogen werden. Dadurch verlangsamt sich der Gang des Schwungrades, die Maschine macht weniger Umdrehungen, sie leistet dadurch weniger

Arbeit; dem Schwungrade muß also noch mehr Arbeitsvermögen entzogen werden, die Maschine geht also noch langsamer, sie wird nach kurzer Zeit endlich stillstehen. Um beide Fälle, ein Durchgehen, wie ein Stehenbleiben der Maschine nach Möglichkeit zu verhindern, ist jede Kraftmaschine, welcher Art sie auch sein möge, gewöhnlich mit einer Vorrichtung versehen, welche die Krafterzeugung der Maschine in der Weise regelt, daß, falls der Arbeitswiderstand auf kurze Zeit wächst, die Maschine mehr Arbeit zu erzeugen imstande ist, und umgekehrt bei abnehmenden Widerstande ihre Arbeitsleistung verringert. Beides natürlich nur in gewissen Grenzen.

Während bei der Dampfmaschine diese Regulierung bekanntlich meist dadurch geschieht, daß man je nach Bedarf mehr oder weniger Dampf in den Cylinder einströmen läßt, unterscheidet man bei Gasmaschinen, ebenso wie bei Petroleum- und Benzinmaschinen, drei Arten der Regulierung, deren jede ihre Vorteile und Nachteile hat, so daß man stets von Fall zu Fall entscheiden muß, welche der drei Regulierungsarten den gerade erforderlichen Betriebsbedingungen am besten entspricht. Diese drei Regulierungsarten sind: 1. Das Ausfallenlassen von Ladungen, 2. Verdünnung des Gasgemisches, 3. Verringerung der angesaugten Menge von Ladungsgemisch.

Das Ausfallenlassen von Ladungen ist die einfachste und sparsamste Art der Regulierung, sie wurde schon von Otto bei seiner ersten Gasmaschine verwendet. Geht die Maschine zu schnell, so braucht man ja nur während eines oder während mehrerer aufeinander folgender Arbeitsabschnitte das Gasventil *a* (Abb. 9, S. 87) geschlossen zu halten. Die Maschine saugt dann nur reine Luft an, Zündung und Verpuffung bleiben aus, und die Maschine verzehrt einen Teil des in dem Schwungrade aufgespeicherten Arbeitsvermögens, bis dann nach einigen Umdrehungen der gewöhnliche Arbeitszustand wieder eintritt. Um nun die Maschine gelegentlich auch eine größere Arbeit leisten zu lassen, ist die Einrichtung so getroffen, daß schon während des gewöhnlichen Arbeitswiderstandes etwa nach jedem 8. oder 9. Doppelhube ein solches Ausfallen einer Ladung eintritt. Steigt dann der Arbeitsbedarf, so wird auch bei diesem 8. oder 9. Doppelhube Gasgemisch angesaugt, wodurch sich natürlich die Gesamtleistung der Maschine erhöht.

Diese Art der Regulierung läßt sich nun z. B. durch

folgende Vorrichtung erreichen, welche durch die beiden Abbildungen 15 und 16 veranschaulicht wird. Durch die Steuerwelle *s* wird vermittelst kegelförmiger Zahnräder eine kleine Welle in rasche Umdrehung versetzt, an derem Ende ein Paar Kugeln beweglich angehängt sind. Auf der eben genannten kleinen Welle ist verschiebbar eine Art Deckel *d* angeordnet, welcher gehoben wird, wenn die Kugeln infolge zu rascher Umdrehung der kleinen Welle auseinander fliegen. Aus der Ab-

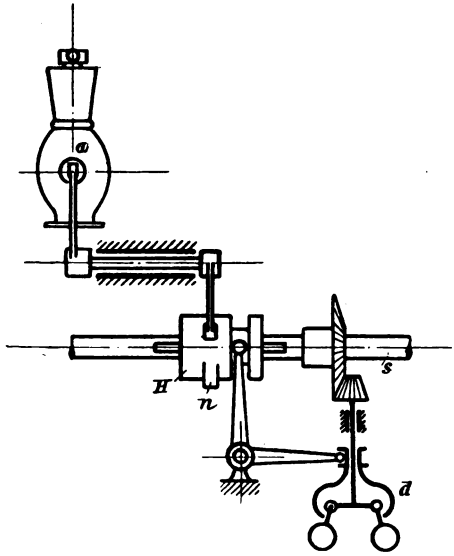


Abb. 15.

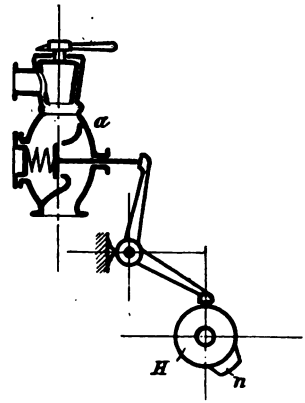


Abb. 16.

bildung ist dann ohne weiteres ersichtlich, daß beim Heben dieses Deckels infolge der Einwirkung des Winkelhebels eine Verschiebung der Hülse *H* nach links eintritt, während bei zu langsamen Gange die Kugeln und damit der Deckel wieder herunterfinken und dadurch die Hülse auf der Steuerwelle mehr nach rechts verschoben wird.

Diese eben besprochene Hülse hat nun an einer Stelle eine Erhöhung oder, wie man sagt, einen Nocken *n*, dessen Wirkung ebenfalls aus der Abbildung ersichtlich ist. Kommt nämlich dieser Nocken durch die Umdrehung der Steuerwelle

nach oben, so wird dadurch der obere Winkelhebel ein klein wenig gedreht und öffnet auf diese Weise das Gasventil *a*, dessen Zweck bei dem Bau der Maschine S. 91 eingehend besprochen wurde. Man sieht sofort, daß eine Öffnung des Gasventiles unterbleibt, wenn die Hülse auf der Steuerwelle soweit verschoben wird, daß der Nocken seitlich an dem oberen Winkelhebel vorbeigeht. Ebenso ist leicht zu ersehen, daß das Gasventil um so weiter geöffnet werden wird, je höher der Nocken ist und umgekehrt; man kann also durch beliebige Gestaltung des Nockens jede gewünschte Öffnung des Gasventiles erreichen.

Ganz ähnlich ist, wie hier bemerkt werden möge, die Steuerung des Auslaßventiles (Abb. 17), nur mit dem Unterschiede, daß in diesem Falle die Hülse auf der Steuerwelle nicht verschiebbar ist. Die Wirkung der Steuerung ist nach dem Vorhergehenden ohne weiteres aus der Abbildung verständlich.

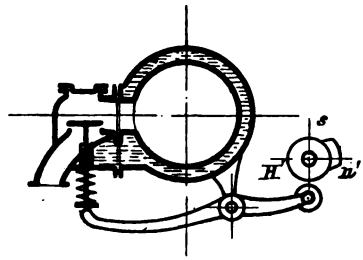


Abb. 17.

Besitzt die Gasmaschine kein zwangläufig gesteuertes Gaseinlaßventil, sondern statt dessen ein selbstthätiges Mischventil, wie es auf S. 92 bei Abb. 13 besprochen wurde, so läßt sich ein Ausfallenlassen von Ladungen oder, wie man auch sagt, das Eintreten von „Aussetzern" sehr leicht dadurch erreichen, daß man das Auslaßventil verhindert sich zu schließen. Die Maschine saugt dann eben bei dem nächsten Arbeitshube kein frisches Gasgemisch an, auch keine reine Luft, wie bei der zuerst besprochenen Ventilanordnung, sondern sie saugt aus der Auspuffleitung die eben ausgestoßenen Auspuffgase in den Cylinder zurück, was, nebenbei bemerkt, den Vorteil gewährt, daß das Innere des Cylinders bis zum nächsten Arbeitshube nicht so stark abgekühlt wird, als wenn nur reine Luft in den Cylinder gesaugt wird. Der Regulator, welcher ein solches Offenhalten des Auslaßventiles bewirkt, ist z. B. bei den Maschinen von Gebrüder Körting in folgender Weise eingerichtet. Auf der Steuerwelle *W* (Abb. 18), welche geradeso, wie das früher besprochen wurde, durch eine Zahnräderübersetzung im Verhältnisse 1 : 2 von der Hauptwelle angetrieben

wird, befindet sich eine kleine Scheibe mit einem Nocken, welcher bei regelrechtem Gange der Maschine, wie aus der Abbildung deutlich zu ersehen ist, in bekannter Weise vermittelst des Winkelhebels *h* das Auslaßventil *S* öffnet. Geht nun die Maschine zu schnell, so wird in einer gleich näher zu beschreibenden Weise der Winkelhebel *kr* nach rechts gedreht, der Arm *k* fängt vermittelst einer Schneide den Arm *h* des erstgenannten Winkelhebels auf und verhindert ihn sich, nachdem der Nocken vorbei ist, wieder an die Welle *W* anzulegen. Damit wird auch das Ausströmventil verhindert sich zu schließen. Erst wenn der Winkelhebel *kr* bei verlangsamtem Gange der Maschine sich wieder nach links bewegt hat, kann sich das Ausströmventil schließen, womit der regelmäßige Gang der Maschine wieder eintritt.

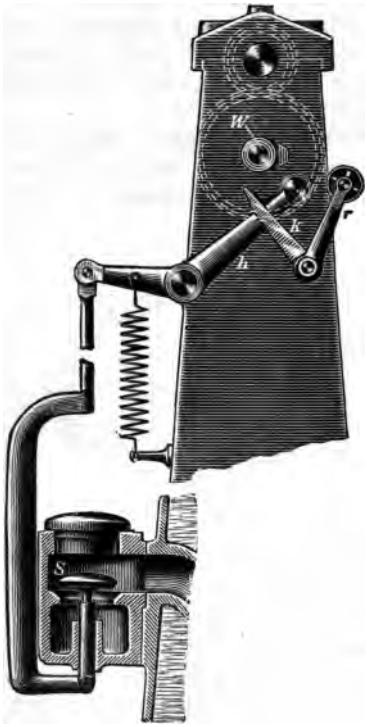


Abb. 18.

Auf welche Weise nun die eben besprochene Drehung des zweiten Winkelhebels bewirkt wird, zeigt Abb. 19, in welcher *ed* den ersten, *cb* den zweiten Winkelhebel darstellt. Auf der Steuerwelle sitzt nämlich eine Scheibe, an welcher ein um einen Punkt drehbares Gewicht *a* angebracht ist. Bei der Drehung der Steuerwelle in der Richtung des eingezeichneten Pfeiles hat das Gewicht *a* das Bestreben, über den Rand der Scheibe hinauszutreten und wird daran durch eine verstellbare Spiralfeder *h* verhindert. Geht die Maschine zu rasch, so wird die Centrifugalkraft des Gewichtes die Spannung der Spiralfeder überwinden, das Gewicht wird über den Rand der Scheibe hinaustreten und dadurch die in der Figur punktiert angegebene Drehung des Winkel-

hebels *bc* veranlassen. Bei verlangsamtem Gange zieht die Spiralfeder das Gewicht *a* wieder zurück, worauf in der oben beschriebenen Weise der regelmäßige Gang der Maschine wieder eintritt. Das Gesamtbild dieser Steuerung ist übrigens aus Abb. 11, S. 88 deutlich zu ersehen.

Die eben besprochenen Arten der Regulierung vermittelst „Aussetzern" haben den Nachteil, daß sie einen der Viertaktwirkung an sich schon anhaftenden Übelstand noch bedeutend vergrößern, die Unregelmäßigkeit des Ganges. Hier gilt also noch in viel höherem Maße alles das, was früher bei der Besprechung des Viertaktes überhaupt gesagt wurde, das heißt derartige Maschinen werden für alle diejenigen Betriebe, bei denen ein hoher Grad von Gleichförmigkeit verlangt wird (Spinnereimaschinen, Maschinen zur Erzeugung elektrischen Lichtes u. s. w.), so gut wie nicht verwendbar sein.

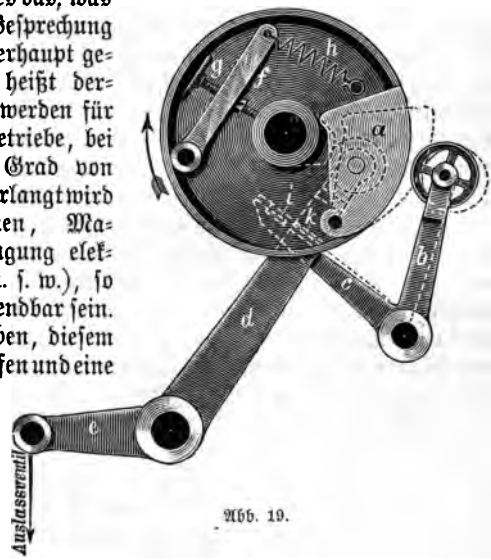


Abb. 19.

Dem Bestreben, diesem Übelstande abzuhelfen und eine größere Gleichförmigkeit des Ganges zu erreichen, sind nun die beiden anderen Arten der Regulierung entsprungen: zunehmende Verdünnung des Gasgemisches, beziehungsweise abnehmende Menge des angesaugten Ladungsgemisches bei Verringerung des Arbeitsbedarfes und umgekehrt.

Durch eine Regulierung vermittelst zunehmender und abnehmender Verdünnung des Gasgemisches wird zwar der Übelstand eines ungleichmäßigen Ganges wesentlich gemildert, doch tritt hierbei wieder ein anderer Übelstand auf, nämlich der, daß eine solche Regulierung den Gasverbrauch für eine Nutzpferdestärke im höchsten Grade ungünstig beeinflußt. Wir hatten allerdings früher gesehen, daß eine Verwendung stark verdünnter

Gasgemische sehr vorteilhaft ist, jedoch nur dann, wenn damit die Verdichtung vor der Entzündung gesteigert wird. Geschieht das nicht, so tritt eine verschleppte, unvollständige Verbrennung ein, die ein starkes Sinken des Wirkungsgrades, das heißt eine Erhöhung des Gasverbrauches für eine Nutzpferdestärke in der Stunde zur Folge hat.

In neuerer Zeit wurde nun von Gebrüder Körting in Hannover die dritte Art der Regulierung eingeführt, welche, ohne durch Ausfallenlassen von Ladungen die Gleichförmigkeit des Gangs zu sehr zu beeinträchtigen, eine wesentliche Verschlechterung des Wirkungsgrades vermeiden soll. Es ist dies die Regulierung durch Veränderung der Menge des angesaugten Ladungsgemisches. Hierzu eignet sich, wie leicht ersichtlich, die an zweiter Stelle besprochene Ventilanordnung (S. 92) ganz besonders gut. Es ist nämlich in diesem Falle nur nötig, beim Sinken des Arbeitsbedarfes das Gemischeinlaßventil *b* schon vor dem Hubende durch den Regulator schließen zu lassen. Das mit Außenluftspannung angesaugte Ladungsgemisch dehnt sich dann nach dem Ventilschluß bis zum Ende des Kolbenhubes aus, wird darauf zunächst wieder bis auf Außenluftspannung und dann weiter verdichtet, jedoch kann in diesem Falle die Verdichtung natürlich niemals dieselbe Höhe erreichen, als wenn der Kolben auf seinem ganzen Wege Ladungsgemisch angesaugt hätte. Eine Verschlechterung des Wirkungsgrades, das heißt eine Erhöhung des Gasverbrauches für 1 Std-PS, tritt infolgedessen auch hier ein, jedoch nicht in dem hohen Maße, wie bei der Regulierung durch wechselnde Verdünnung des Gasgemisches. Diese Art der Regulierung ist übrigens noch in jüngster Zeit von Gebrüder Körting dahin abgeändert worden, daß das Gasgemischeinlaßventil *b* während des ganzen Ansaugehubes offen bleibt, dagegen befindet sich vor dem Gemischeinlaßventil eine Drosselklappe, welche von dem Regulator mehr oder weniger geschlossen wird, so daß auf diese Weise eine geringere oder größere Menge Ladungsgemisch in den Cylinder eintritt. Durch Versuche hat sich gezeigt, daß sich auf diese Weise eine sehr vollkommene Regulierung der Gasmaschine erreichen läßt.

Die **Verschlechterung des Wirkungsgrades bei abnehmender Leistung** ist überhaupt ein wohl zu beachtender Punkt bei der *Gasmaschine* und alle die früher genannten Zahlen des

Gasverbrauches für 1 Std-PS beziehen sich stets auf diejenige Leistung, für welche die Maschine eigentlich gebaut ist, die sogenannte Normalleistung oder Nennleistung. Sinkt die Maschinenleistung unter diesen Wert, so steigt der Gasverbrauch für 1 Std-PS ganz wesentlich und zwar in um so stärkerem Maße, je weiter die Leistung sinkt. Der Grund hierfür liegt darin, daß bei abnehmender Leistung sich der Cylinder stärker abkühlt und zwar bei der erstgenannten Regulierungsart infolge des Fortfallens einzelner Verpuffungen, bei der zweiten und dritten Art durch die geringere Wärmeentwicklung der einzelnen Verpuffungen. Durch eine solche Abkühlung des Cylinders wird die Ladung vor der Entzündung weniger gut vorgewärmt, es tritt eine weniger gute Mischung (Diffusion) ein, und eine Folge davon ist eine schlechte, unvollständige Verbrennung und damit zusammenhängend eine Erhöhung des Gasverbrauches. Ferner darf nicht außer acht gelassen werden, daß in jeder Gasmaschine eine bestimmte, stets ungefähr gleichbleibende Gasmenge für diejenige Arbeit verbraucht wird, welche aufgewendet werden muß, um Reibungs- und andere Widerstände in der Maschine selbst zu überwinden. Dabei wollen wir uns erinnern, daß ja bei der Viertaktmaschine während dreier Kolbenhübe überhaupt keine Arbeit geleistet wird und daß die für die Verdichtung des Gasgemisches notwendige Arbeit gar keinen unbeträchtlichen Teil der von der Maschine überhaupt geleisteten Arbeit ausmacht. Dieser sogenannte Leergangsverbrauch beträgt etwa den vierten oder fünften Teil des von der Maschine bei ihrer Nennleistung verbrauchten Gases, und da diese Gasmenge dieselbe Größe behält, ganz gleichgültig ob die Maschine mit ganzer oder halber Leistung arbeitet, so verteilt sie sich zu um so größeren Teilen auf jede einzelne PS, je geringer die Arbeitsleistung der Maschine wird; es wird also infolge hiervon der Gasverbrauch für 1 Std-PS um so größer werden, je weiter die Arbeitsleistung der Maschine sinkt.

Sehr anschaulich wird diese Verschlechterung des Wirkungsgrades, das heißt die Zunahme des Gasverbrauches für 1 Std-PS bei der Betrachtung des Schaubildes, Abb. 20 auf folgender Seite, welches Durchschnittswerte der an verschiedenen Maschinen vorgenommenen Messungen ergiebt.*) Die auf der wagerechten Linie aufgetragenen Strecken bezeichnen den Prozentsatz der mit

*) Aus Musil, Wärmemotoren. Braunschweig 1899.

1 bezeichneten Leistung, für welche die Maschine gebaut wurde (den betreffenden Teil ihrer Nennleistung), während die senkrechten Strecken die Menge des für 1 Std-PS verbrauchten Brennstoffes (Gas, Petroleum, Benzin) darstellen, bezogen auf den Brennstoffbedarf bei der Leistung 1 (bei der Nennleistung). Beträgt z. B. die Leistung der Maschine nur 0,7 ihrer Nennleistung, so ist der Brennstoffbedarf für 1 Std-PS 1,15 mal so groß wie bei der Nennleistung; beträgt die Leistung nur 0,3 der Nennleistung, so ist der Brennstoffbedarf für 1 Std-PS 1,66 mal so groß als bei der Nennleistung u. s. w.

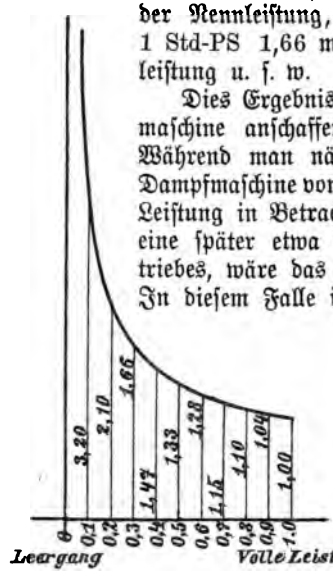


Abb. 20.

Dies Ergebnis ist für jeden, der sich eine Gasmaschine anschaffen will, von hoher Wichtigkeit. Während man nämlich bei der Anschaffung einer Dampfmaschine von vornherein eine bedeutend größere Leistung in Betracht ziehen wird mit Rücksicht auf eine später etwa eintretende Erweiterung des Betriebes, wäre das bei einer Gasmaschine unrichtig. In diesem Falle ist es zweckmäßiger, die Maschine so groß zu wählen, daß sie eben für den Betrieb ausreicht oder wenigstens doch nur unwesentlich größer ist; denn wollte man z. B. eine Gasmaschine, welche für eine Arbeitsleistung von 30 PS berechnet ist, und für welche der Verfertiger einen Gasverbrauch von 0,5 cbm für 1 Std-PS gewährleistet, für einen Betrieb verwenden, welcher nur 15 PS verlangt, so würde eben, wie sich aus unserer Schaulinie ergiebt, der Gasverbrauch nicht 0,5 cbm, sondern ungefähr $1{,}33 \times 0{,}5 = 0{,}665$ cbm für 1 Std-PS betragen. Die Maschine würde also unwirtschaftlich arbeiten und eine etwaige Ersparnis in den Anschaffungskosten würde durch einen solchen unwirtschaftlichen, teueren Betrieb schon in verhältnismäßig kurzer Zeit wieder verloren gehen.

Um jenen unter den geehrten Lesern, welche zum erstenmale eine Gasmaschine sehen, das Verständnis der einzelnen *Teile der Maschine* zu erleichtern, möge hier noch als Erwei-

terung und Erläuterung des früher Gesagten eine Beschreibung an der Hand der beigegebenen Tafel eingefügt werden, welche die äußere Ansicht und einen Schnitt durch Einlaß- und Auslaßventil einer Deutzer Gasmaschine darstellt.

A ist der Cylinder, in welchem sich in der früher besprochenen Weise ein langer Kolben ohne besondere Gradführung bewegt. Die Bewegung der Schwungradwelle wird durch ein Paar sogenannter Schraubenräder auf die Steuerwelle *I* übertragen, und zwar ist aus dem bekannten Grunde zur Erzielung des Viertaktes die Zähnezahl dieser Schraubenräder so gewählt, daß die Steuerwelle eine Umdrehung macht, wenn die Schwungradwelle sich zweimal herumdreht. *E* ist ein Gasabsperrhahn, während *F* das Gehäuse des von der Maschine gesteuerten Gaseinlaßventiles darstellt (in Abb. 9, S. 87 mit *a* bezeichnet). Das Öffnen des Gaseinlaßventiles geschieht durch einen kleinen Hebel *f'* (Abb. 2 d. Taf.), welcher seinerseits in der früher beschriebenen Weise dadurch bewegt wird, daß der Nocken *f* (Abb. 1) den in Abb. 2 nur punktiert gezeichneten Teil des Hebels *f'* zu bestimmten Zeiten trifft (vgl. S. 98 Abb. 15). Die Wirkung des Regulators *K* auf den Nocken *f* und dadurch auf das Gaseinlaßventil ist nach dem früheren ohne weiteres verständlich, ebenso die Bewegung des Auslaßventiles *D* (Abb. 2 und 3) vermittelst des Hebels *d'* und des Nockens *d*. *G*, Abb. 2, ist ein kleiner Kamin, in welchem die Flamme für die Erhitzung des Glührörchens eingeschlossen ist. Die Mischung des Gases mit der angesaugten Luft findet, wie die Querschnittsabbildung 3 zeigt, erst kurz vor dem Eintritte in den Cylinder statt. Man bemerkt nämlich dicht vor dem eigentlichen Ventilteller *C* einen um den ganzen Ventilsitz herumlaufenden ringförmigen Kanal, welcher mit Öffnungen in der Richtung nach der Ventilspindel zu versehen ist. Das ist der Kanal, in welchen das Gas von dem Gaseinlaßventil her einströmt, während die Luft durch den Kanal *H* angesaugt wird und sich demnach erst kurz vor dem Eintritte in den Cylinder mit dem Gase mischt. Die Steuerung des Gemischeinlaßventiles *C* durch den Winkelhebel *c'* und einen auf der Steuerwelle befindlichen Nocken ist ohne weiteres aus der Abbildung ersichtlich. Es ist zu beachten, daß dieses Gemischeinlaßventil bei jedem Viertakte geöffnet wird, und daß bei einem „Aussetzer" eben nur das Gasventil *F* geschlossen bleibt, so daß in diesem Falle der Kolben nur reine Luft in den Cylinder hineinsaugt.

Zubehörteile der Gasmaschine.

Zu jeder Gasmaschine gehören endlich eine Anzahl von Vorrichtungen, deren Zweck und Wirkungsweise zum besseren Verständnis der ganzen Anlage hier noch kurz erörtert werden mögen, wobei wir annehmen wollen, daß es sich um Leuchtgas handele, welches aus einer städtischen Leitung entnommen wird.

Ehe das Gas aus der Straßenleitung in die Gasmaschine gelangt, hat es zunächst die sogenannte Gasuhr zu durchströmen, jene wohl allgemein bekannte Vorrichtung, welche dazu dient, den Verbrauch an Gas in cbm festzustellen. Wollte man das Gas von hier aus unmittelbar in die Maschine eintreten lassen, so gäbe das zu mancherlei Übelständen Anlaß. Zunächst ist zu bedenken, daß der Druck, unter welchem das Gas in der Leitung steht, durchaus kein gleichbleibender, sondern ein fortwährend wechselnder ist, da er z. B. dann immer abnehmen wird, wenn in den umliegenden Straßenteilen viel Gas verbraucht wird. Jeder Wechsel des Gasdruckes wird aber auf die Zusamensetzung des Ladungsgemisches einen Einfluß ausüben, in der Weise, daß bei abnehmendem Gasdrucke die Verdünnung des Gasgemisches zunimmt und umgekehrt. Da eine solche Ungleichmäßigkeit des Gasgemisches, wie wir gesehen hatten, auf den Wirkungsgrad der Maschine ungünstig einwirkt, so läßt man das Gas, bevor es in die Maschine gelangt, eine Vorrichtung durchströmen, den sogenannten Gasdruckregler, welcher dazu dient, den Gasdruck immer auf derselben Höhe zu erhalten. Die Wirkungsweise eines solchen Reglers besteht darin, daß das Gas bei zunehmendem Drucke ein Ventil selbstthätig um so mehr schließt, je höher der Druck steigt, während sich bei abnehmendem Drucke das Ventil wieder mehr öffnet. Einen häufig verwendeten Gasdruckregler zeigt Abb. 21. Das Ventil *g* ist an einer Spindel befestigt, welche mit einem Schwimmer *e* in fester Verbindung steht*) und an ihrem oberen Ende mit verschiedenen Scheiben *B* aus Blei oder Gußeisen beschwert ist. Wird der Druck in der Leitung zu stark, so drückt das Gas oben auf den Schwimmer, der Schwimmer taucht tiefer in die Flüssigkeit ein und nähert dadurch das Ventil *g* seinem Sitze. Hierdurch verringert sich aber der Durchtrittsquerschnitt

*) *In der Abbildung ist diese feste Verbindung von g und e leider nicht deutlich ersichtlich.*

und die Folge davon ist, daß auf der Seite, auf welcher der austretende Pfeil gezeichnet ist, der Gasdruck sinkt. Im umgekehrten Falle, d. h. wenn der Druck des Gases niedriger ist als gewöhnlich, hebt der Schwimmer das Ventil, was eine Vergrößerung des Durchtrittsquerschnittes und dadurch eine kleine Erhöhung des Druckes auf der Austrittsseite zur Folge hat. Man erkennt unmittelbar aus der Betrachtung der Abbildung, daß sich der Gasdruck durch eine solche Vorrichtung sehr wohl beliebig verkleinern läßt, einfach dadurch, daß man die Zahl der Belastungsgewichte *B* vermehrt, daß aber andererseits der Druck auf der Austrittsseite niemals höher werden kann als der Druck des eintretenden Gases ist.

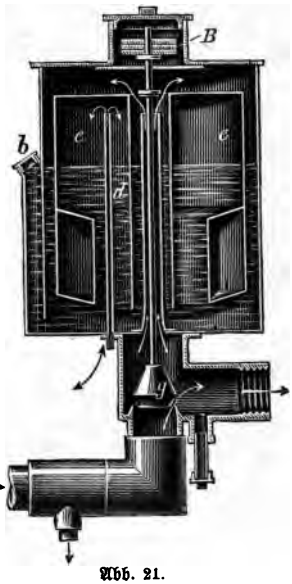


Abb. 21.

Während nun die Anbringung eines Gasdruckreglers nicht gerade unbedingt nötig ist, darf eine weitere Vorrichtung bei keiner Gasmaschine fehlen, nämlich der Gummibeutel, dessen Wirkung, beziehungsweise dessen Notwendigkeit eine einfache Betrachtung erkennen läßt. Zu diesem Zwecke müssen wir uns vergegenwärtigen, daß die Gasmaschine das zu ihrem Betriebe nötige Gas nicht in gleichförmiger Weise aus der Leitung entnimmt, wie das etwa bei einer Gasflamme der Fall ist, sondern gewissermaßen stoßweise, da ja die Maschine während dreier Kolbenhübe gar kein Gas braucht und erst bei jedem vierten Hube plötzlich eine verhältnismäßig große Menge aus der Leitung entnimmt. Die hierdurch auftretenden starken Druckschwankungen in der Gasleitung würden zur Folge haben, daß etwa in der Nähe der Gasmaschine brennende Gasflammen bei jedem Arbeitshube der Maschine, also etwa 80 bis 100mal in der Minute eine zuckende Bewegung machen würden, was die betreffenden Besitzer der Gasflammen mit Recht zu einer Beschwerde bei dem Gasmaschineninhaber veranlassen würde. Um diese un-

unterbrochenen starken Druckschwankungen zu vermeiden, dazu dient der **Gummibeutel**, ein linsenförmiger Beutel aus Gummi, welcher mindestens so groß sein muß, daß er etwa 10 bis 14 mal so viel Gas in sich aufnehmen kann als die Maschine zu einem Arbeitsvorgange braucht. Durch den in der Leitung herrschenden Gasdruck aufgebläht, stellt er gewissermaßen einen Vorratsbehälter dar, aus welchem die Maschine

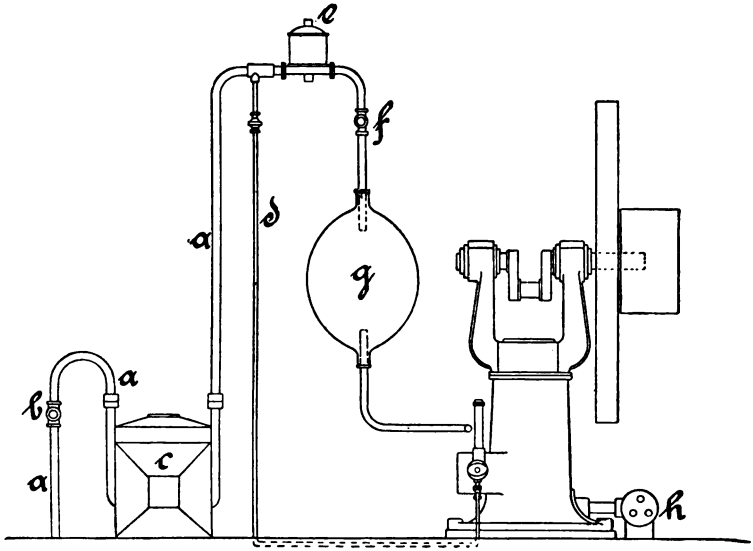


Abb. 22.

bei dem jedesmaligen Ansaugeabschnitt das Gas entnimmt, wobei der Druck in der übrigen Leitung beinahe unverändert bleibt. Daß die Leitung für das zur Erhitzung des Zünd-Glührörchens nötige Gas schon vor dem Gummibeutel abgezweigt werden muß, braucht wohl nicht erst erwähnt zu werden.

Die **allgemeine Anordnung** der eben besprochenen Vorrichtungen in Verbindung mit einer stehenden Gasmaschine zeigt die obenstehende Skizze Abb. 22; hierin bedeutet *a* die *Gaszuleitung*, welche durch einen Hahn *b* abgesperrt werden *kann; c stellt die* Gasuhr dar, e den Gasdruckregler, vor welchem

die Rohrleitung *d* für den Brenner zur Erhitzung des Glührörchens abzweigt. Nachdem das Gas einen Absperrhahn *f* durchströmt hat, gelangt es in den Gummibeutel *g* und von hier aus in die Maschine. Der Absperrhahn *f* wird einige Augenblicke vor dem Stillsetzen der Gasmaschine geschlossen, damit der Gummibeutel nach dem Stillstande der Maschine kein Gas mehr enthält.

Die für die Herstellung des Ladungsgemisches nötige Luft entnimmt man gewöhnlich an einer Stelle, wo die Luft möglichst rein ist, um einer Verschmutzung des Cylinders nach Kräften vorzubeugen. Noch sicherer erreicht man diesen Zweck, wenn man dem Rohre, durch welches die Luft angesaugt wird, eine plötzliche Erweiterung giebt in der Gestalt des sogenannten Ansaugetopfes. Durch diese plötzliche Querschnittsvergrößerung, die eine Verringerung der Luftgeschwindigkeit zur Folge hat, setzt sich der etwa mitgerissene Staub in dem Topfe ab und es wird dabei gleichzeitig der Vorteil erreicht, daß das schlürfende Geräusch, welches beim Ansaugen der immerhin bedeutenden Luftmenge durch das enge Rohr hindurch eintreten würde, fast vollständig vermieden wird.

Einem ganz ähnlichen Zwecke dient der sogenannte Auspufftopf, eine topfartige Erweiterung des Auspuffrohres, in welchem sich das bei der Verbrennung des Gases bildende Wasser in Verbindung mit Schmierölteilchen u. s. w. absetzen soll. Von diesem Topfe aus wird das Auspuffrohr (möglichst ohne scharfe Krümmungen) über Dach geführt, damit eine Belästigung der Nachbarschaft durch die unangenehm riechenden Auspuffgase unter allen Umständen vermieden wird.

Das Ingangsetzen oder „Anlassen" der Gasmaschinen, ebenso wie das der später zu besprechenden Petroleum- und Benzinmaschinen, ist stets mit gewissen Umständlichkeiten verknüpft und bei weitem nicht so einfach wie das Ingangsetzen einer Dampfmaschine. Ist in dem Dampfkessel die nötige Spannung vorhanden, so bedarf es in den meisten Fällen nur der Öffnung eines einzigen Ventiles, um die Dampfmaschine in Gang zu bringen, wobei es vollständig gleichgültig ist, ob die Maschine leer läuft oder ob sie voll belastet ist. Bei der Gasmaschine dagegen liegen die Verhältnisse wesentlich anders. Hier *fehlt* der Kraftsammler, der bei der Dampfmaschine durch

den Dampfkessel dargestellt wird. Die Gasmaschine bereitet sich ja, wie wir wissen, das zu jedem Arbeitshube erforderliche Gas-Luftgemisch selber, und da ein solches Gemisch vor dem Anlassen nicht vorhanden ist, so muß es, für die ersten Hübe wenigstens, eigens hergestellt werden. Das geschieht nun bei allen kleineren Gasmaschinen einfach in der Weise, daß die Maschine mit der Hand (gewöhnlich am Schwungrade) so lange gedreht wird, bis das erste zündfähige Ladungsgemisch sich gebildet und entzündet hat, worauf die Maschine ihren regelmäßigen Gang beginnt. Aber selbst bei ganz kleinen Maschinen wäre ein solches Andrehen mit der Hand nicht ohne weiteres angängig, und zwar deshalb, weil die vor der Zündung stattfindende Verdichtung zu viel Kraft zum Herumdrehen der Maschine erfordern würde. Es bleibt daher nichts anderes übrig, als für die Dauer des Andrehens die Verdichtungsspannung erheblich zu verringern, was einfach in der Weise geschieht, daß das Auslaßventil auch während des Verdichtungsabschnittes ein klein wenig geöffnet wird. Zu diesem Zwecke besitzt diejenige Scheibe auf der Steuerwelle, durch welche die Öffnung des Auslaßventiles bethätigt wird, einen zweiten kleineren Nocken (in Figur 2 der beigegebenen Tafel mit *c* bezeichnet), welcher so gestellt ist, daß auch während des Verdichtungsabschnittes der Hebel für das Auslaßventil ein klein wenig bewegt und damit das Auslaßventil etwas geöffnet wird. Ist dann die Maschine in Gang gesetzt, so wird die Scheibe von dem Maschinenwärter auf der Steuerwelle so weit verschoben, daß dieser zweite kleinere Nocken an dem Hebel des Auslaßventiles seitwärts vorbeigeht, worauf dann der regelmäßige Gang der Maschine eintritt.

Man erkennt aber leicht, daß es selbst bei kleineren Maschinen unmöglich sein wird, die Maschine bei voller Belastung anzudrehen. Es wird stets erforderlich sein, die Maschine für sich allein in Gang zu setzen und dann vermittelst geeigneter Vorrichtungen die von der Gasmaschine zu betreibenden Maschinen und dergleichen einzurücken.

Für größere Gasmaschinen ist ein solches Andrehen mit der Hand überhaupt nicht mehr ausführbar, so daß für diesen Fall besondere Anlaßvorrichtungen vorhanden sein müssen. Diese Anlaßvorrichtungen können mannigfacher Art sein. Ein einfaches und sicheres, aber allerdings auch teures Mittel ist es, das Anlassen der Maschine durch eine eigene kleine Hilfs-

maschine besorgen zu lassen, wozu man entweder wiederum eine kleine Gasmaschine oder auch irgend eine andere Kraftmaschine, Elektromotor u. dgl. benützen kann. Eine andere Möglichkeit des Anlassens ist die, daß man die Gasmaschine zunächst vermittelst verdichteter Luft in rasche Umdrehung versetzt, wobei die dazu nötige Luftmenge entweder durch eine kleine Handpumpe oder auch von der Gasmaschine selbst im Vorrat hergestellt werden kann. Endlich kann man auch, ähnlich wie bei der Dampfmaschine, eine Art Kraftsammler dadurch beschaffen, daß man in einem kleinen Vorratsbehälter eine gewisse Menge fertiges Ladungsgemisch ansammelt, welches dann einfach in die Maschine hinübergeleitet und hier in gewöhnlicher Weise entzündet wird, worauf die Maschine sofort in Gang kommt.

Zweites Kapitel.

Verpuffungsmaschinen für Verwendung von Petroleum-Destillaten.

Die bisher besprochenen Gasmaschinen haben sämtlich den einen Übelstand gemeinsam, daß ihr Betrieb an das Vorhandensein einer Gasanstalt mit einem mehr oder weniger verzweigten Rohrnetze gebunden ist. Durch die Errichtung eigener Gaserzeugungsanstalten, namentlich solcher zur Herstellung des früher erwähnten Dowsongases, wurde es zwar ermöglicht Gasmaschinen auch dort zu verwenden, wo eine städtische Gasanstalt nicht vorhanden ist, jedoch ist zu beachten, daß dadurch wiederum der Vorteil der Einfachheit verloren geht, den im allgemeinen die Gasmaschine der Dampfmaschine gegenüber besitzt. Man versuchte es daher Maschinen herzustellen, welche sich das zu ihrem Betriebe notwendige Gas gewissermaßen selbst zubereiteten und wählte dabei als Betriebsmittel die Destillationserzeugnisse des sogenannten Rohpetroleums: das Benzin, sowie das gewöhnliche Lampenpetroleum, welche beide die Eigenschaft haben, daß ihre Dämpfe, mit Luft vermischt, unter Druckentwicklung verbrennen, in ganz derselben Weise, wie das früher bei dem Gemisch von Gas und Luft besprochen wurde. Die verhältnismäßige Einfachheit, mit welcher sich unter Verwendung jener Betriebsmittel ein zur Krafterzeugung geeignetes Verpuffungs-

gemisch herstellen läßt, ermöglichte es nun Gasmaschinen — sie führen in diesem Falle den besonderen Namen Benzin- und Petroleummaschinen — an jedem beliebigen Orte aufzustellen und ihnen ganz neue Anwendungsgebiete zu verschaffen, wie z. B. im landwirtschaftlichen Betriebe.

Sieht man ab von der Erzeugung des Gasgemisches, so unterscheiden sich die heute üblichen Benzin- und Petroleummaschinen (mit Ausnahme der später eigens zu besprechenden Dieselmaschine) in nichts von einer gewöhnlichen Leuchtgas- oder Kraftgasmaschine. Bauart und Wirkungsweise sind in beiden Fällen ganz dieselben. Alle Benzin- und Petroleummaschinen arbeiten im Viertakte und es gelten hier dieselben Regeln und Erörterungen, welche früher bei der Besprechung der Gasmaschine in Bezug auf Viertaktwirkung, Zündung und Regulierung angeführt wurden. Der wesentliche Unterschied zwischen den Gasmaschinen im engeren Sinne und den Benzin- und Petroleummaschinen liegt, wie gesagt, nur in der Herstellung des Ladungsgemisches. Bevor jedoch näher darauf eingegangen wird, mögen zunächst einige allgemeine Bemerkungen über die beiden zur Verwendung kommenden Betriebsmittel hier Platz finden.

Petroleum und Benzin. Benzin sowohl wie Petroleum sind Flüssigkeiten, welche in einfacher Weise aus einem und demselben Rohstoffe, dem sogenannten Rohpetroleum (bisweilen auch Stein- oder Erdöl genannt), hergestellt werden, einem dickflüssigen Öle, welches namentlich in Amerika, in den Staaten Pennsylvania und Kanada, dann aber auch in Europa, hauptsächlich in der Umgegend der russischen Stadt Baku am kaspischen Meere, gewonnen wird. Seiner Beschaffenheit nach ist das Rohpetroleum ein Gemisch aus verschiedenen festen, flüssigen und gasförmigen Kohlenwasserstoffverbindungen und verdankt seine Entstehung im Inneren der Erde höchst wahrscheinlich einer Zersetzung tierischer Körper, namentlich von Meerestieren, welche sich durch das Zurücktreten der Meere in früheren Erdzeitaltern an gewissen Stellen in ungeheueren Mengen aufgehäuft hatten. Das aus Bohrlöchern zum Teil frei hervorsprudelnde, zum Teil durch Pumpen zu Tage geförderte Rohpetroleum ist als solches in der Technik nicht verwendbar, dagegen haben die aus ihm gewonnenen Erzeugnisse, vor allen

Dingen das allbekannte, gewöhnliche Lampenpetroleum, eine außerordentliche Bedeutung erlangt, man denke nur an die gewaltige Umwälzung, welche seinerzeit in den sechziger Jahren das Erscheinen der Petroleumlampe in der Beleuchtungstechnik der ganzen Welt hervorgerufen hat.

Erhitzt man das aus der Erde gewonnene Rohpetroleum in geschlossenen Behältern, so werden sich natürlich diejenigen Bestandteile, das heißt diejenigen Kohlenwasserstoffverbindungen zuerst in Dampfform verwandeln, deren Siedepunkt am niedrigsten liegt. Je weiter die Erhitzung getrieben wird, um so schwerer flüchtige Bestandteile kommen zur Verdampfung. Läßt man nun die bei den verschiedenen Temperaturen sich bildenden Dämpfe aus jenem Verdampfungsgefäße, gewöhnlich Destillierblase genannt, in Röhren treten, welche von außen stark gekühlt werden, so werden sich die Dämpfe wieder zu Flüssigkeiten verdichten, die nun aber verschiedene Eigenschaften besitzen, je nach der Temperatur, unter welcher die Erhitzung stattgefunden hat oder, wie man sagt, je nach der Temperatur, bei welcher die Flüssigkeiten übergegangen sind.

Die durch eine solche Destillation des Rohpetroleums gewonnenen Erzeugnisse teilt man gewöhnlich in drei Gruppen ein und rechnet dabei zu der ersten Gruppe alle diejenigen Flüssigkeiten, welche bei Temperaturen bis zu 170° übergehen. Als wichtigste Flüssigkeit kommt für den vorliegenden Fall nur das bei Temperaturen zwischen 80 und 100° übergehende Benzin in Betracht, jene bekannte Flüssigkeit, welche nicht nur zur Krafterzeugung, sondern auch im großen wie im kleinen zur Fleckenreinigung viel verwendet wird. Das Benzin hat ein spezifisches Gewicht von etwa 0,7 und darf nach einem Beschlusse des Bundesrates für Krafterzeugungszwecke unter Kontrolle zollfrei in Deutschland eingeführt werden. Die der zweiten Gruppe zugerechneten, bei Temperaturen von 170 bis 300° übergehenden Stoffe werden nicht gesondert aufgefangen, sondern bilden in ihrer Gesamtheit das gewöhnliche Lampenpetroleum, im folgenden kurzweg mit Petroleum bezeichnet, dessen spezifisches Gewicht in den Grenzen zwischen 0,8 und 0,825 schwankt. Wird die Destillationstemperatur noch weiter gesteigert, so gehen die Stoffe der dritten Gruppe über. Die Flüchtigkeit der sich ergebenden Erzeugnisse verringert sich immer mehr und man erhält die zum Schmieren von Maschinen in

ausgedehntester Weise verwendeten Mineralschmieröle, sowie schließlich das unter dem Namen Vaseline bekannte Erzeugnis von salbenartiger Beschaffenheit.

Schon aus der Art der Gewinnung ergiebt sich, daß Benzin und Petroleum stark voneinander abweichende Eigenschaften haben werden. Während das Benzin aus Teilen besteht, welche so flüchtig sind, daß sie schon bei Temperaturen von 80 bis 100° in den dampfförmigen Zustand übergehen, enthält das Petroleum neben verhältnismäßig leichtflüchtigen, gleichzeitig außerordentlich schwerflüchtige Bestandteile, bei denen es der Anwendung von Temperaturen bis zu 300° bedarf, um sie in Dampfform überzuführen. Diese Verschiedenheit der Eigenschaften wird eine völlig verschiedene Art der Verwendung zur Krafterzeugung erforderlich machen, weshalb die Besprechung der beiden Maschinengattungen, beziehungsweise die Besprechung der Bildung des Ladungsgemisches bei beiden Maschinengattungen gesondert erfolgen muß.

Benzinmaschinen. Die ersten, im Anfange der siebziger Jahre im Handel erschienenen sogenannten Petroleummaschinen waren nur dem Namen nach Petroleummaschinen, in Wirklichkeit dagegen Benzinmaschinen, weil man es damals noch nicht verstand die Schwierigkeiten zu überwinden, welche sich bei der Erzeugung eines Verpuffungsgemisches unter Verwendung von reinem Lampenpetroleum ergaben. Das Benzin eignet sich zur Verwendung als Betriebsmittel von Gasmaschinen deswegen in so vortrefflicher Weise, weil es schon bei gewöhnlicher Temperatur teilweise verdunstet, so daß die Bildung eines Verpuffungsgemisches sich hier als ganz besonders einfach erweist. Man hat nämlich nur nötig Luft durch eine Schicht von Benzin hindurchzusaugen; die Luft sättigt sich dabei dann so stark mit Benzindämpfen, daß schon hierdurch ein Verpuffungsgemisch zustande kommt, welches, kurz vor dem Eintritt in die Maschine durch nochmaligen Zutritt von Luft verdünnt, ohne weiteres in der Gasmaschine zur Krafterzeugung verwendet werden kann.

Ein anderer Weg zur Bildung eines Verpuffungsgemisches besteht darin, daß man in den von dem Maschinenkolben angesaugten Luftstrom eine kleine abgemessene Menge Benzin, in *feine* Teilchen zerstäubt, hineinspritzt. Beide Arten haben ihre *Vorteile und Nachteile.*

Die erste Art, die Bildung des Gasgemisches vermittelst Hindurchsaugen der Luft durch einen größeren Vorrat von Benzin, hat den Vorteil größter Einfachheit, da irgend welche feinfühligen, Aufmerksamkeit in der Bedienung und Instandhaltung erfordernden Teile nicht vorhanden sind, während der Nachteil darin besteht, daß bei längerer Betriebsdauer eine Gleichmäßigkeit in der Stärke des Gasgemisches nicht zu erzielen ist. Beachtet man nämlich, daß die Herstellung des Benzins bei immerhin ziemlich weit auseinander liegenden Temperaturen (80 bis 100°) geschieht, so erkennt man, daß das Benzin zum Teil aus leichter, zum Teil aber auch aus schwerer flüchtigen Bestandteilen zusammengesetzt sein wird. Saugt man nun die Luft durch einen größeren Vorrat von Benzin hindurch, so werden natürlich zuerst die leichtflüchtigen Bestandteile verdunsten und die angesaugte Luft ziemlich stark mit Benzindämpfen sättigen. Je länger dagegen der Betrieb dauert, um so mehr wird die Sättigung der angesaugten Luft mit Benzindämpfen abnehmen, da ja immer schwerer flüchtige Bestandteile in dem Vorratsgefäße zurückbleiben.

Diesen Übelstand des ungleichmäßigen Gasgemisches vermeidet die zweite Art der Gemischbildung. Hier wird, wie erwähnt, die für jede Ladung erforderliche Benzinmenge von dem ganzen Vorrate abgesondert und so fein zerstäubt der von dem Kolben angesaugten Luft beigemischt, daß diese Mischung sofort in der Maschine zur Verwendung gelangen kann. Eine Ungleichmäßigkeit in der Stärke des Ladungsgemisches ist natürlich hierdurch auch bei längerer Betriebsdauer vollständig vermieden. Dagegen ist diese Art der Gemischbildung weniger einfach als die erstgenannte Art, weil die Absonderung solcher kleiner Benzinmengen, wie sie für jeden Arbeitshub gebraucht werden, und die Regulierung dieses Zuflusses je nach der wechselnden Leistung der Maschine außerordentlich feinfühlige und empfindliche Maschinenteile voraussetzen.

In Abb. 23 und 24 a. f. Seite ist ein Benzingaserzeuger der Deutzer Gasmotorenfabrik dargestellt. Die Luft wird vermittelst des Rohres *B* durch eine Schicht von Benzin hindurchgesaugt, sättigt sich dabei mit Benzindämpfen und dieses Gemisch geht dann, nachdem es einen mit Kieselsteinchen gefüllten Kasten *d*, sowie ein sogenanntes Rückschlagsventil e durchströmt hat, nach der *Maschine*. Das ebengenannte Gefäß d sowie das Ventil e

sind Sicherheitsvorrichtungen, um ein Zurückschlagen der Flamme in das Benzingefäß auf alle Fälle zu verhindern. Einem ähnlichen Sicherheitszwecke dienen mehrere engmaschige Drahtnetze, welche oben in dem Kopfe des Rohres *B* eingefügt sind, sowie das

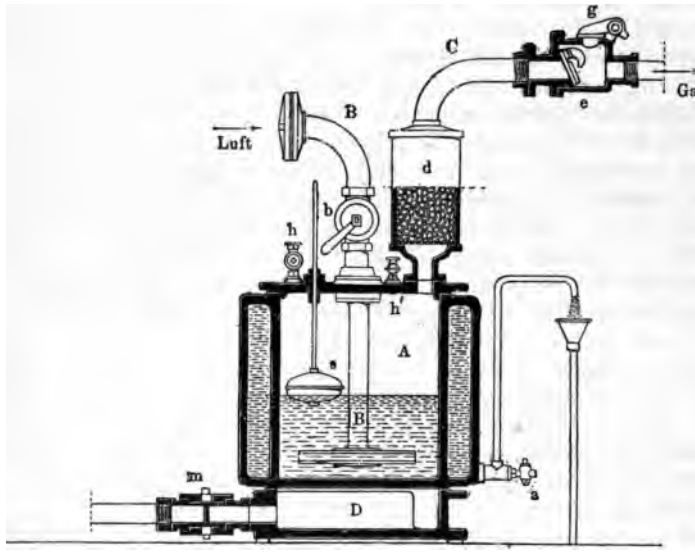


Abb. 23.

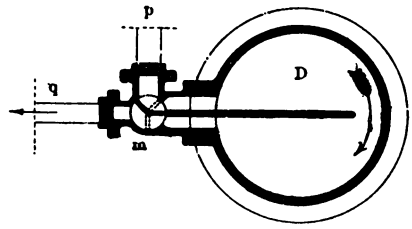


Abb. 24.

Sicherheitsventil *g*, welches sich sofort nach außen öffnet, wenn die Verpuffungs-Flamme durch einen Zufall bis in das Ventilgehäuse *eg* zurückschlagen sollte. Der Schwimmer *s* dient dazu, die Höhe der Benzinschicht im Inneren des Gefäßes von außen zu erkennen. Um bei zu geringer Temperatur oder dann, wenn nur noch schwerflüchtige Bestandteile in dem Gefäße enthalten sind, eine *stärkere Verdunstung* eintreten zu lassen, sind Vorkehrungen getroffen, *um das* Benzin zu erwärmen. Diesem Zwecke dient

einmal der das Gefäß umgebende Wassermantel, durch welchen man das von der Maschine kommende und dort erwärmte Kühlwasser hindurchstreichen lassen kann, und zweitens die in dem Boden des Gefäßes befindliche Vorrichtung, welche darin besteht, daß man durch verschiedene Stellung des Hahnes *m* (Abb. 24) die durch das Rohr *p* ankommenden heißen Auspuffgase der Maschine entweder ganz, teilweise oder gar nicht unter dem Boden des Gefäßes hinstreichen lassen kann.

Einen Benzingaserzeuger zweiter Art, wie er bei den Benzinmaschinen von Gebrüder Körting verwendet wird, stellt Abb. 25 dar. Hier wird also nicht Luft durch einen Benzinvorrat hindurchgesaugt, sondern es wird die für einen jedesmaligen Arbeitshub erforderliche Benzinmenge von dem Benzinvorrat abgesondert und, fein zerstäubt, der angesaugten Luft beigemischt. Die Art und Weise, in welcher dies geschieht, ist aus nebenstehender Abbildung leicht ersichtlich. Aus einem höher stehenden Behälter

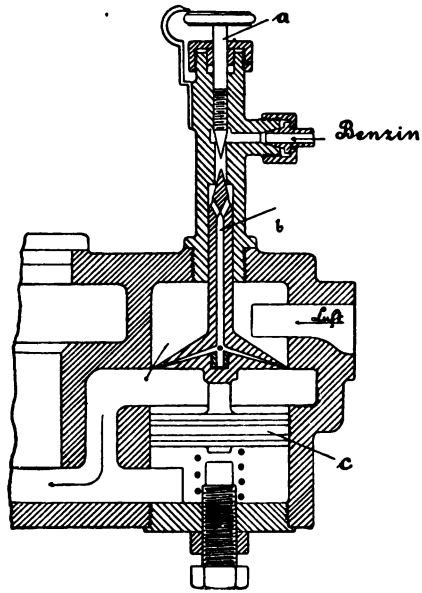


Abb. 25.

fließt das Benzin durch die in der Abbildung angegebene Öffnung in die Höhlung *b* eines Ventiles, welches unten noch einmal durch eine Art Kolben *c* gerade geführt ist. Ein lebhafteres oder geringeres Zuströmen des Benzins kann dabei durch die in eine feine Nadel endigende Schraube *a* bewirkt werden. Findet nun in der Maschine das Ansaugen statt, so wird das Ventil *bc* nach unten gezogen, das Benzin strömt durch die feine ringförmige Öffnung des Ventiles in einem ganz dünnen Schleier aus und wird dabei sofort von dem gleichzeitig angesaugten Luftstrome in feinste Teilchen zerstäubt.

Das auf diese Weise gebildete Benzingasgemisch tritt dann durch ein besonderes Gemischeinlaßventil in den Cylinder der Maschine.

Der allen Benzinmaschinen gemeinsame Übelstand besteht in der großen Feuergefährlichkeit des Betriebsmittels. Jede Undichtigkeit der Benzinleitungen und der Aufbewahrungsbehälter muß daher aufs strengste vermieden werden, und auch das Einfüllen des Benzins in die zur Maschine gehörigen Behälter muß mit der größten Vorsicht geschehen, unter peinlicher Fernhaltung aller brennenden Flammen. Dies ist auch der Grund, warum man in neuerer Zeit bei Benzinmaschinen gern die elektrische Zündungsart anwendet, da die für eine Glührohrzündung erforderliche Zündflamme bei mangelnder Vorsicht die Ursache heftiger und gefährlicher Explosionen werden kann.

Der Vorteil der Benzinmaschinen gegenüber den Gasmaschinen besteht in ihrer großen Einfachheit. Gasuhr und Gasdruckregler fallen fort, und wenn gegen die Feuergefährlichkeit des Betriebsmittels genügende Vorsichtsmaßregeln getroffen sind, so kann man sagen, daß die Benzinmaschinen den gewöhnlichen Gasmaschinen an Betriebssicherheit nicht nur gleichkommen, sondern sie sogar noch übertreffen.

Petroleummaschinen. Die große Feuergefährlichkeit des Benzins war der Grund, warum man versuchte Wärmekraftmaschinen mit dem weit ungefährlicheren Petroleum zu betreiben. Daß dieser Versuch lange Zeit nicht glückte, und selbst heute noch die Petroleummaschinen im allgemeinen nicht den Grad der Betriebssicherheit besitzen, wie alle einigermaßen gut gebauten Benzinmaschinen, liegt einzig und allein daran, daß die Bildung eines zur Krafterzeugung brauchbaren Verpuffungsgemisches unter Verwendung von Petroleum viel schwieriger ist, als bei dem leichtflüchtigen Benzin. Da nämlich das Petroleum, wie früher gezeigt wurde, bei Destillationstemperaturen von 170—300° gewonnen wird, enthält es nur Bestandteile, die bedeutend schwerer flüchtig sind als die Bestandteile des bei Destillationstemperaturen von 80—100° gewonnenen Benzins. Infolgedessen verdunstet auch Petroleum bei gewöhnlicher Lufttemperatur so gut wie gar nicht und seine Entzündungstemperatur liegt so hoch (etwa bei 60°), daß man in gut gereinigtes

Petroleum von gewöhnlicher Temperatur unbedenklich ein brennendes Streichholz hineinwerfen kann ohne eine Entzündung oder gar Explosion befürchten zu müssen. Selbst in ganz feine Teilchen zerstäubt und mit Luft vermischt bildet das Petroleum noch kein Verpuffungsgemisch, vielmehr ist es nötig das Petroleum vorher durch Erhitzung in den dampfförmigen, beziehungsweise in den gleich näher zu erläuternden nebelförmigen Zustand überzuführen, denn erst in dieser Dampf-, beziehungsweise Nebelform hat das Petroleum die Eigenschaft, mit Luft vermischt ein zur Krafterzeugung brauchbares Verpuffungsgemisch zu bilden. Die eben erwähnte Nebelform des Petroleums ist eine Zwischenstufe zwischen dem flüssigen und dampfförmigen Aggregatzustande, die auch beim Wasserdampf beobachtet werden kann, denn das, was man im gewöhnlichen Leben mit Wasserdampf bezeichnet, z. B. die einer Lokomotive beim Anfahren entströmenden Wolken, ist ja eigentlich kein reiner Wasserdampf, das heißt dampfförmiges Wasser, sondern verdichteter Wasserdampf. Beim Ausströmen aus dem Kessel oder aus dem Cylinder einer Maschine verdichtet sich der Wasserdampf in der verhältnismäßig kalten Luft, bildet kleine Bläschen, und diese mit Luft gefüllten Bläschen bilden in ihrer Gesamtheit die gewöhnlich mit „Dampf" bezeichneten Wolken. Ganz dasselbe ist nun auch beim Petroleum der Fall. Während jedoch die durch Wasserdampf gebildeten Wolken sehr rasch in der Luft verschwinden, hat das Petroleum, wie überhaupt alle Öle und Fette, die Eigentümlichkeit, in dieser Nebelform verhältnismäßig lange zu verharren und, was hier besonders zu beachten ist, dieser Petroleumnebel bildet mit Luft vermischt geradeso wie dampfförmiges Petroleum ein zur Krafterzeugung geeignetes Verpuffungsgemisch. Diese letztgenannte Eigenschaft ist deshalb von so hervorragender Wichtigkeit, weil auf ihr allein die Möglichkeit beruht eine Petroleummaschine überhaupt in Gang zu setzen. Wird nämlich bei Beginn des Betriebes das in Dampfform verwandelte Petroleum in die Maschine gebracht, so ist es gar nicht zu vermeiden, daß sich dieser Dampf infolge der verhältnismäßig niedrigen Temperatur, welche zunächst noch in der Maschine herrscht, zum Teil wenigstens verdichtet und in die Nebelform übergeht. Es wäre demnach sehr schwer, wenn nicht unmöglich eine Petroleummaschine in Gang zu setzen, wenn nicht eben zum Glück der Petroleumnebel bezüglich der Bildung eines

Verpuffungsgemisches genau dieselben Eigenschaften hätte, wie der Petroleumdampf.

Bei den weit auseinander liegenden Temperaturen, unter welchen bei der Destillation das Petroleum übergegangen ist, wird es nun nicht angängig sein eine größere Menge Petroleum auf einmal zu erhitzen und den dadurch gebildeten Petroleumdampf, mit Luft vermischt, als Ladungsgemisch zu verwenden, aus dem einfachen Grunde, weil hier in noch viel höherem Maße wie bei dem Benzin immer schwerer flüchtige Teile zur Verdampfung gelangen würden, was wiederum eine starke Ungleichmäßigkeit in der Gemischbildung zur Folge haben würde. Es wird somit in diesem Falle eine Gemischbildung nur in der Weise stattfinden können, daß von dem Petroleumvorrat eine kleine für den Arbeitshub der Maschine ausreichende Menge abgesondert, in feine Teilchen zerstäubt und dann in Dampfform übergeführt wird.

Wie gering diese Mengen sind, welche bei einem jedesmaligen Arbeitshube von dem Petroleumvorrat abgesondert und verdampft werden müssen, zeigt eine einfache Berechnung. Nimmt man an, daß eine Maschine mit einer Nennleistung von 10 PS 4,2 kg Petroleum stündlich verbraucht, bei 100 Doppelhüben in der Minute, so kommen auf jeden Doppelhub $\frac{4200}{60 \cdot 100} = 0{,}7$ g, das heißt nur wenige Tropfen. Man erkennt daraus, daß alle diese Vorrichtungen, welche zur Absonderung und Zerstäubung dienen, nicht bloß mit außergewöhnlicher Sorgfalt hergestellt, sondern auch dauernd in tadellosem Zustande erhalten werden müssen, da jede Abnutzung oder Verschmutzung dieser Teile sofort zu Betriebsstörungen Anlaß geben muß.

Zu jeder Petroleummaschine werden demnach zwei wichtige und nicht zu entbehrende Bestandteile gehören, nämlich erstens die Vorrichtung, welche dazu dient von dem Petroleumvorrat für jeden Arbeitshub einen kleinen Teil abzusondern und zu zerstäuben, und zweitens der sogenannte Verdampfer oder Vergaser, ein in irgend einer Weise auf hoher Temperatur erhaltener Raum, in welchem das in Staubform verwandelte Petroleum in Dampfform übergeführt wird.

Die Zuführung der zur Bildung des Ladungsgemisches erforderlichen Petroleummenge kann auf zweierlei Weise geschehen. *Die einfachste* Art ist die, das Petroleum der Zer-

stäubervorrichtung unter natürlichem Drucke, das heißt von einem höher stehenden Vorratsbehälter aus, zufließen zu lassen. Es muß dann nur durch genaue Reguliervorrichtungen Vorsorge getroffen werden, daß nicht mehr Petroleum in die Maschine gelangen kann, als zur Bildung des Ladungsgemisches erforderlich ist.

Die zweite häufiger angewendete Art ist die, für jeden Arbeitshub eine genau abgemessene Menge Petroleum durch eine kleine von der Maschine selbst angetriebene Pumpe fein zerstäubt in den Verdampfer hineinzupressen, jedoch liegt in diesem Falle eine große Schwierigkeit, wie leicht zu ersehen ist, darin, daß so außerordentlich geringe Menge von Petroleum durch eine Pumpe zu fördern sind, weshalb gerade diese Pumpen in allen ihren Teilen mit größter Sorgfalt hergestellt werden müssen.

Das in feinste Teilchen zerstäubte Petroleum muß nun also in dem sogenannten Verdampfer oder Vergaser in Dampf verwandelt werden, was stets in der Weise zu geschehen pflegt, daß der Petroleumstaub gegen Wandflächen gespritzt wird, welche in irgend einer Weise dauernd auf hoher Temperatur gehalten werden. Hinsichtlich dieser Temperatur ist zu beachten, daß das Petroleum eine Menge sehr schwerflüchtiger Bestandteile enthält, deren Siedepunkt, wie schon öfters erwähnt, zum Teil erst bei 300° C liegt. Es wird demnach notwendig sein die den Verdampfer bildenden Wände, gegen welche das zerstäubte Petroleum gespritzt wird, dauernd auf einer Temperatur zu erhalten, welche mindestens 300° C beträgt. Wäre das nicht der Fall, so würde ein Teil des Petroleums nicht verdampfen können, es würde unverdampft in dem Vergaser zurückbleiben oder in die Maschine gelangen und hier infolge unvollständiger Verbrennung sehr bald zu Verschmutzung und dadurch zu Betriebsstörung Anlaß geben.

Aus der großen Zahl von Vorrichtungen, welche zur Herstellung des Ladungsgemisches bei Petroleummaschinen dienen, mögen als Beispiele die beiden folgenden angeführt werden.

Abb. 26 a. f. Seite zeigt eine Zerstäubungsvorrichtung mit Vergaser, wie sie bei der Petroleummaschine stehender Bauart von Kjelsberg angewendet wird. Das von dem kleinen Kolben *k* in seinem Zuflusse regulierte Petroleum tritt aus der Zerstäubervorrichtung *a* als ringförmiger Schleier aus. Gleichzeitig saugt

aber der Maschinenkolben, nachdem das zwangläufig gesteuerte Ventil *c* geöffnet ist, durch das selbstthätig sich öffnende Ventil *g* hindurch Luft an. Diese angesaugte Luft zerstäubt den aus *a* austretenden Petroleumschleier in feinste Teilchen, welche an den heißen Wänden des Verdampfers *b* in Dampf verwandelt werden. Die Erhitzung der Verdampferwände geschieht dabei durch die gleichzeitig zur Erhitzung des Glührohres dienende Flamme, deren Abgase zwischen der äußeren und inneren Wand des Verdampfers hindurchstreichen und oben in der Nähe der Zerstäubungseinrichtung *a* zum Austritt gelangen.

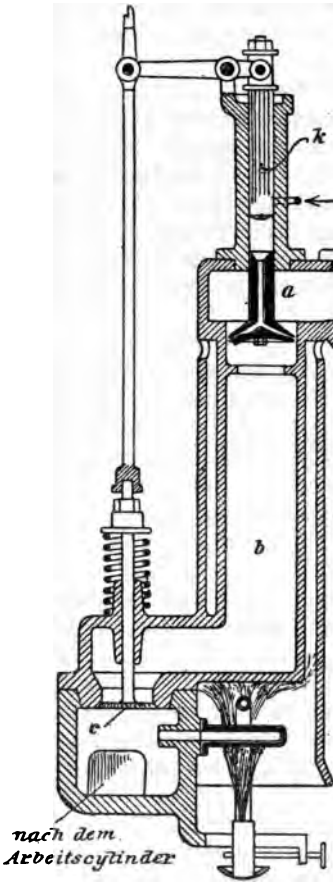


Abb. 26.

Aus dem Verdampfer tritt dann das fertige Ladungsgemisch in den Cylinder der Maschine, wo es in ganz derselben Weise wie das Gemisch aus Leuchtgas und Luft verwendet wird.

Verdampfer dieser Art nennt man geschlossene, weil der Verdampfer einen abgeschlossenen Raum darstellt, welcher nur während des Ansaugehubes durch Öffnen des Gemischeinlaßventiles (*c*) mit dem Cylinderinneren in Verbindung gebracht wird.

Im Gegensatze hierzu unterscheidet man nun die offenen Verdampfer, welche, wie schon der Name sagt, ständig mit dem Cylinderinneren in Verbindung stehen und die Eigentümlichkeit haben, daß sie gleichzeitig an Stelle eines Glührohres als Zündvorrichtung dienen. In welcher Weise dies möglich ist,

wird am besten aus der Beschreibung des nachfolgenden Beispieles hervorgehen, sowie aus der Betrachtung der beiden Abb. 27 und 28, welche einen offenen Verdampfer darstellen, wie er bei den Petroleummaschinen von J. M. Grob u. Co. in Leipzig-Eutritzsch verwendet wird.

Durch eine in der Abbildung nicht sichtbare Pumpe wird für jeden Arbeitshub eine kleine Menge Petroleum in die Vertiefung *d* am oberen Schenkel des knieförmigen Verdampfers *c* (Abb. 27) hineingepreßt. Beim Abwärtsgehen (die Abbildung stellt den obersten Teil des Cylinders einer stehenden Maschine dar) saugt nun der Maschinenkolben durch das sich selbstthätig öffnende, oben in der Abbildung sichtbare Einlaßventil Luft an, welche zum Teil sofort in das Cylinderinnere dringt, zum Teil aber infolge der löffelförmigen Vorrichtung *a* durch den Verdampfer hindurchgetrieben wird. Diese durch den Verdampfer hindurchstreichende Luft zerstäubt das in der Vertiefung *d* liegende Petroleum in feinste Teilchen und schleudert es dabei gegen die Wände des Verdampfers, welcher von außen durch eine Flamme erhitzt wird. An diesen glühenden Wandungen verdampft das Petroleum, kann aber vorläufig noch nicht verbrennen, da ihm die zur Verbrennung notwendige Luftmenge fehlt. Erst beim Austritt aus dem Verdampfer trifft der Petroleumdampf mit der zu beiden Seiten des Löffels *a* vorbeistreichenden, unmittelbar in den Cylinder hineingesaugten Luft zusammen und bildet auf diese Weise ein Verpuffungs-

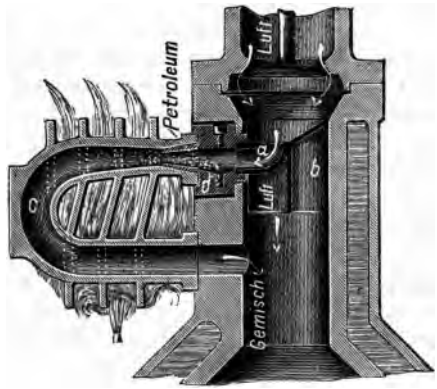


Abb. 27.

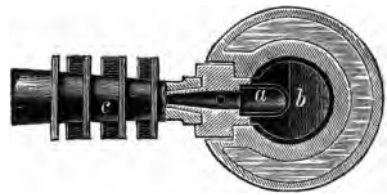


Abb. 28.

gemisch, welches nun beim Verdichtungshube in den glühenden Verdampfer hineingepreßt wird und sich hier gerade so wie in einem früher beschriebenen Glührörchen entzündet. Das winkelförmig gebogene Blech *b* dient dazu, die zu beiden Seiten des Löffels *a* vorbeistreichende Luftmenge nicht zu groß und damit die durch den Löffel hindurchstreichende Luftmenge nicht zu klein werden zu lassen.

Es verdient übrigens hervorgehoben zu werden, daß bei einigen Petroleummaschinen mit offenem Verdampfer eine eigene Flamme zur Erhitzung des Verdampfers nur während der Inbetriebsetzung der Maschine verwendet wird. Ist die Maschine erst einmal im Gange, so genügt die durch die fortwährenden Verpuffungen erzeugte Wärme, um die für eine Verdampfung des Petroleums und Entzündung des gebildeten Verpuffungsgemisches notwendige Temperatur im Verdampfer zu erhalten.

Auch die sogenannten Benzin-Petroleummaschinen gehören hierher. Es sind dies Maschinen, welche zunächst zwar mit Benzin in Gang gesetzt werden; hat dann aber die Maschine nach einiger Zeit durch die Verpuffungen des Benzingasgemisches die nötige Wärme erhalten, so kann man an Stelle des Benzins fein zerstäubtes Petroleum in die Maschine einspritzen, ohne daß man auch hier eines besonders geheizten Verdampfers bedarf.

Übelstände der gewöhnlichen Petroleummaschinen. Es wurde bereits erwähnt, daß der Verdampfer dauernd auf einer Temperatur von mindestens 300° C erhalten werden muß, damit auch die ganz schwerflüchtigen Bestandteile des Petroleums in Dampfform übergeführt werden können. Gerade so wie der Verdampfer müßten nun eigentlich auch alle übrigen Teile der Maschine, mit welchen der mit Luft vermischte Petroleumdampf in Berührung kommt, vor allen Dingen also die Cylinderwände, auf dieser hohen Temperatur dauernd erhalten werden, um ein Verdichten und Niederschlagen des Petroleumdampfes zu vermeiden. Das ist jedoch unmöglich. Da nämlich eine Schmierung des Kolbens und damit der Cylinderwände nicht zu umgehen ist, diese Schmierung aber in der Regel mit dem früher erwähnten Mineralöle stattfindet, so würde bei einer *derartig* hohen Temperatur der Cylinderwandungen das Öl *zum Teil verdampfen*, der Kolben würde, wie man sagt, trocken

laufen, er würde fest brennen und die Maschine in kurzer Zeit zum Stillstande bringen. Die Notwendigkeit, den Kolben zu schmieren, erfordert hier also gerade so wie bei den früher besprochenen Gasmaschinen eine Kühlung der Cylinderwände, und die unvermeidliche Folge dieser Kühlung ist es, daß sich ein Teil des in die Maschine gelangenden Petroleumdampfes an den verhältnismäßig kalten Wandungen niederschlägt.

Thut das nun auch der Bildung des Verpuffungsgemisches im allgemeinen nur geringen Abbruch, da wir ja früher gesehen hatten, daß das Petroleum auch in Nebelform ein Verpuffungsgemisch bildet, so ist doch gerade hierin der Grund für einen anderen Übelstand zu suchen, der fast allen Petroleummaschinen anhaftet, der üble Geruch. Da die Petroleummaschinen ausnahmslos einfachwirkend sind, d. h. da die Cylinder auf einer Seite offen sind (gerade so wie dies früher bei den Gasmaschinen besprochen wurde), so ist es gar nicht zu vermeiden, daß bei jedem Hube die mit dem niedergeschlagenen heißen Petroleumdampfe bedeckten Cylinderwandungen mit der Außenluft in Berührung kommen. Ein Teil dieses heißen Petroleums verdunstet, teilt sich der umgebenden Luft mit und bildet so die Ursache für den bei fast allen Petroleummaschinen wahrnehmbaren unangenehmen Geruch.

Diese an den Cylinderwandungen anhaftenden, nicht verdampften Petroleumteilchen bilden ferner auch die Ursache für die lästige und kaum zu umgehende Verschmutzung, welcher die meisten Petroleummaschinen schon nach verhältnismäßig kurzer Betriebsdauer ausgesetzt sind. Selbst bei der durch die Zündung eintretenden sehr hohen Temperatur können nämlich jene nicht verdampften Petroleumteilchen gar nicht oder nur unvollständig verbrennen, da es ihnen an der zu ihrer Verbrennung erforderlichen Luftmenge fehlt. Durch die unvollständige Verbrennung bildet sich aber Ruß (dieselbe Erscheinung wie bei einer zu hoch geschraubten Petroleumlampe) und dieser Ruß giebt dann, mit Schmieröl vermischt, häßliche Rückstände, welche in verhältnismäßig kurzer Zeit eine Verschmutzung des Cylinderinneren, sowie der einzelnen feinfühligen Einlaß- und Auslaßvorrichtungen herbeiführen.

Eine dritte üble Folge der in den meisten Petroleummaschinen stattfindenden unvollkommenen Verbrennung des Ladungsgemisches ist die Belästigung der Nachbarschaft durch die

der Maschine entströmenden Auspuffungsgase, welche sich nicht allein durch ihren üblen Geruch auf weite Entfernung hin in unangenehmer Weise bemerkbar machen, sondern oft genug bei zunehmender Verschmutzung der Maschine die ganze Umgegend des Auspuffrohres mit Kohlenrußteilchen überschütten. Würde das in die Maschine gelangende Ladungsgemisch vollkommen verbrennen, so wäre nicht nur ein solches Austreten von Kohlenrußteilchen unmöglich, sondern die Auspuffgase müßten auch ganz oder doch wenigstens nahezu geruchlos sein, gerade so wie die einer gut brennenden Petroleumlampe entströmenden Gase vollständig geruchlos sind.

Daß eine solche unvollkommene Verbrennung, wie sie fast allen Petroleummaschinen eigentümlich ist, auch auf den Petroleumverbrauch von Einfluß sein muß, bedarf kaum der Erwähnung. In der That bezieht sich der früher angegebene Petroleumverbrauch von durchschnittlich 0,5 l für Stunde und Nutzpferdestärke nur auf solche Maschinen, die erstens voll belastet sind, das heißt mit ihrer Nennleistung arbeiten, und die zweitens in gutem Zustande erhalten werden. Bei abnehmender Leistung tritt infolge der vielen Aussetzer eine starke Abkühlung der Maschine ein, die Verbrennung wird immer unvollkommener, die Verschmutzung nimmt zu und der Petroleumverbrauch für Stunde und Nutzpferdestärke steigt sofort bedeutend, nicht selten auf das Doppelte der angegebenen Größe und darüber.

Petroleummaschine von Dopp. Da war es die Firma Gebrüder Dopp in Berlin, welche vor einiger Zeit unter Beibehaltung des bekannten Kreisprozesses eine wesentliche Verbesserung der Petroleummaschinen herbeiführte, indem sie in einer gegen alle früher beschriebenen Arten vollständig abweichenden Weise die Bildung des Ladungsgemisches bewerkstelligte. Infolge der hierdurch erzielten durchaus vollkommenen Verbrennung wurden alle die oben genannten Übelstände beseitigt und damit eine bedeutende Verringerung im Petroleumverbrauche für Stunde und Nutzpferdestärke erreicht.

Nach der von der Firma in der Zeitschr. d. Ver. deutscher Ingenieure, Jahrg. 1899, S. 750 ff. gegebenen Erklärung ist bei den Maschinen der Grundsatz einer möglichst feinen Zerstäubung des flüssigen Brennstoffes vollständig verlassen und *statt dessen ins* Auge gefaßt worden, das Petroleum durch

äußere Wärmezufuhr in vollkommenster Weise zu verdampfen. Jede Einzelladung des flüssigen Brennstoffes wird unmittelbar vor ihrer Einführung in den Misch- und Verbrennungsraum der Maschine in kürzester Zeit unter möglichst vollkommenem Luftabschluß in Dampfform übergeführt und der entstandene Dampf so hoch überhitzt, daß auch die Dämpfe der schwerflüchtigen Petroleumbestandteile eine sehr hoch über ihrem Kondensationspunkte liegende Temperatur annehmen. Der Dampf wird dann, durch siebartige Öffnungen in feine strahlenförmige Einzelströme geteilt, in den Arbeitscylinder eingeführt, wo er sich innig mit der von dem Kolben während des Ansaugehubes angesaugten Verbrennungsluft mischt. Bei dieser Mischung mit der kühleren Luft sinkt zwar die Temperatur der hoch überhitzten Dampfstrahlen, jedoch ist diese Temperaturerniedrigung während des bis zur Zündung vorhandenen sehr kurzen Zeitraumes nicht groß genug, um eine Nebelbildung oder gar ein Niederschlagen von Petroleum an den Cylinderwandungen herbeizuführen.

Daß die Verbrennung auf diese Weise eine vollkommene wird, selbst nach einer Reihe von ausfallenden Ladungen (Aussetzern), beweist am besten der Umstand, daß die Auspuffgase farb- und geruchlos sind und daß ein an irgend einer Stelle der Ausblaseleitung in die Auspuffgase hineingehaltenes Blatt Papier keinerlei Verschmutzung durch Öltröpfchen oder Rußteilchen zeigt. Ebenso hat nach Angabe der Firma eine zweipferdige Maschine auf einer Ziegelei zur Entwässerung mehrerer Thongruben $1\frac{1}{2}$ Jahr in täglichem Vollbetriebe gestanden, ohne daß nur einmal der Cylinder gereinigt wurde.

Die Folge dieser vollkommenen Verbrennung ist ein bisher bei keiner Maschine erreichter geringer Brennstoffverbrauch, der, wie bereits früher (S. 45) erwähnt, bei einem längeren ununterbrochenen Probebetriebe einer Maschine von 10 Nutzpferdestärken im Durchschnitt nur 0,246 l für Stunde und Nutzpferdestärke betrug.*)

*) Neuere Betriebsergebnisse waren leider nicht zu erhalten.

An dieser Stelle kann nun auch etwas näher auf eine Frage eingegangen werden, welche früher schon einmal (S. 35) kurz gestreift wurde, nämlich auf die Frage: Warum baut man denn eigentlich heutzutage noch Dampfmaschinen? Diese Frage ist berechtigt gegenüber den im vorhergehenden eingehend erörterten Vorzügen, welche die neueren Wärmekraftmaschinen, namentlich die Gasmaschinen gegenüber der Dampfmaschine besitzen. Diese Vorzüge bestehen, um es noch einmal kurz zusammenzufassen, in der Einfachheit der Anlage, der Einfachheit und Gefahrlosigkeit des Betriebes, der steten Gebrauchsfertigkeit und vor allen Dingen in der bei weitem besseren Ausnutzung der zugeführten Wärme. Was den ersten der auf S. 35 angeführten Gründe betrifft, warum die Dampfmaschine den neueren Wärmekraftmaschinen überlegen ist, so ist hervorzuheben, daß gerade in allerjüngster Zeit von den Gasmaschinen-Fabriken die größten Anstrengungen gemacht werden, um auch betriebssichere Gasmaschinen größter Leistung auf den Markt zu bringen. Während noch vor zwei oder drei Jahren eine Gasmaschine von 150 oder 200 PS als eine besonders große Maschine angesehen und angestaunt wurde, kam im Herbste des Jahres 1898 bereits eine 600-pferdige Gasmaschine in Gang und eine größere Anzahl 600- und 1000-pferdiger Gasmaschinen, ja selbst eine 1200-pferdige befinden sich in der Ausführung. Auch betreffs der wirtschaftlichen Überlegenheit der Dampfmaschinen über die Gasmaschinen muß erwähnt werden, daß es in neuester Zeit durch stete Verbesserungen der Kraftgasanlagen gelungen ist, vermittelst einer Kraftgasmaschine die Std-PS mit annähernd derselben Gewichtsmenge Kohlen zu erzeugen, wie in den besten Dampfmaschinen. Es muß infolgedessen allerdings zugestanden werden, daß die Gasmaschine sicherlich eine immer noch größere Beachtung verdient als ihr bis jetzt zuteil geworden ist.

Andererseits kann aber doch nicht verschwiegen werden, daß es verschiedene Punkte giebt, in denen die Dampfmaschine der Gasmaschine nicht nur überlegen ist, sondern aller Wahrscheinlichkeit nach auch immer überlegen bleiben wird. Das Ingangsetzen einer Gasmaschine ist bei weitem nicht so einfach wie das Ingangsetzen einer Dampfmaschine. Nur unter ganz *bestimmten* Voraussetzungen ist es, wie früher bereits hervorgehoben, *möglich*, die Gasmaschine unter teilweiser oder voller

Belastung in Gang zu setzen, während dies bei der Dampfmaschine jeder Zeit ohne Schwierigkeit möglich ist. Zweitens erfordert die Gasmaschine bei aller Einfachheit doch eine weit sorgfältigere und verständigere Bedienung als eine Dampfmaschine, was seinen Grund hat in den außerordentlich hohen Temperaturen, welche in der Gasmaschine vorkommen. Eine einmalige Unvorsichtigkeit oder Vergeßlichkeit des Wärters, der es etwa unterläßt das Kühlwasser anzustellen, ein Versagen oder Nichtanstellen der Schmiervorrichtung, hat in kürzester Zeit ein Trockenlaufen des Kolbens zur Folge, und wird diesem Übelstande nicht sofort abgeholfen, so kann die Maschine binnen wenigen Minuten bis zur vollständigen Betriebsunfähigkeit beschädigt sein. Bei der Dampfmaschine dagegen ist ein Versagen der Kolben-Schmiervorrichtung aus dem Grunde weniger gefährlich, weil erstens der Dampf niemals die hohen Temperaturen erreicht, wie sie in der Gasmaschine bei der Verpuffung des Gasgemisches vorkommen und weil ferner der Dampf schon an sich eine gewisse Schmierfähigkeit besitzt, so daß der Kolben selbst eine längere Zeit hindurch eine Ölschmierung ohne irgend welchen bedeutenden Schaden für die Maschine entbehren kann.

Die Unregelmäßigkeit des Gangs, namentlich der einfachen Viertaktmaschinen und die sich daraus ergebenden Übelstände wurden bereits besprochen, ebenso daß die Regulierung der Gasmaschine gewisse Schwierigkeiten aufweist, die bei der Dampfmaschine nicht vorhanden sind.

Jedoch sind mit Bezug hierauf in jüngstverflossener Zeit so große Fortschritte gemacht, daß jetzt die Regulierfähigkeit guter, namentlich großer Gasmaschinen, der Regulierfähigkeit gleich großer Dampfmaschinen kaum nachsteht.

Ein weiterer Nachteil aller neueren Wärmekraftmaschinen besteht darin, daß sie gegen Überlastungen außerordentlich empfindlich sind. Eine Gasmaschine, der eine größere Arbeit zugemutet wird als sie bei regelmäßig eintretenden Zündungen zu leisten vermag, gleicht einem störrischen Pferde, das überanstrengt wird, das heißt sie bleibt stehen. Wird nämlich die verlangte Arbeit über das Höchstmaß gesteigert, so muß die Maschine langsamer gehen; wenn sie aber langsamer geht, wird die Gemischbildung und die Verbrennung, das heißt die Wärmeausnutzung eine unvorteilhafte. Es wird ein kleineres Dia-

gramm zustande kommen oder mit anderen Worten, die Maschine leistet weniger Arbeit (statt der erforderlichen Mehrarbeit!) Leistet sie aber weniger Arbeit, so geht sie wieder langsamer, und so weiter fort; die Maschine bleibt nach kurzer Zeit stehen. Bei der Dampfmaschine ist das nicht der Fall. Die Dampfmaschine gleicht darin — um bei demselben Bilde zu bleiben — einem guten, willigen Pferde, welches eine schwere Last, die man ihm zumutet, zwar mit geringerer Geschwindigkeit aber doch stetig weiter zieht. Mit anderen Worten eine stark überlastete Dampfmaschine verlangsamt zwar ihren Gang, gegebenen Falls so stark, daß sie eben nur noch über die beiden Totpunkte hinwegkommt, sie arbeitet aber doch ruhig fort, da die Größe der Arbeitsleistung während einer Umdrehung, das heißt die Größe des Diagrammes sich bei verlangsamtem Gange (von einer gewissen Grenze an) nicht mehr ändert.

Gerade dieser zuletzt genannte Umstand ist aber offenbar ein großer Nachteil der Gasmaschine, der um so schwerer ins Gewicht fällt, als es aus früher angegebenen Gründen wirtschaftlich höchst unvorteilhaft ist eine Gasmaschine längere Zeit hindurch mit wesentlich geringerer Leistung arbeiten zu lassen als ihrer Nennleistung (S. 103) entspricht. Eine Gasmaschine, oder allgemein ausgedrückt, eine neuere Wärmekraftmaschine wird also z. B. überall da nicht zur Anwendung gelangen können, wo die Maschine imstande sein soll gelegentlich einmal bedeutend mehr Arbeit abzugeben als ihrer Nennleistung entspricht, eine Forderung, die in sehr vielen Fällen an eine Kraftmaschine gestellt wird.

Dritter Abschnitt.

Verbrennungskraftmaschinen (Diesel-Maschine).

Zu den in den vorhergehenden Abschnitten behandelten neueren Wärmekraftmaschinen ist in dem letzten Jahrzehnt noch eine weitere hinzugetreten, welche, im allgemeinen Aufbau den Gas- und Petroleummaschinen ähnlich, dennoch in ihrer Wirkungsweise von allen bisher besprochenen neueren Wärmekraftmaschinen in wesentlichen Punkten abweicht, es ist die nach ihrem Erbauer benannte Dieselmaschine.

Die große Begeisterung, welche der neuen Maschine in den ersten Jahren sowohl von seiten zahlreicher Fachleute, als auch in Laienkreisen vielfach entgegengebracht wurde, hat sich gelegt, die überschwänglichen Erwartungen, welche auf die Maschine gesetzt wurden, haben sich bis jetzt nicht erfüllt, und an eine Umwälzung auf dem gesamten Gebiete der Wärmekraftmaschinen kann heute nicht mehr gedacht werden. Trotzdem bedeutet aber die Erfindung der Dieselmaschine einen Erfolg auf dem Gebiete der Wärmeausnutzung, der dadurch an Bedeutung gewinnt, daß er einzig und allein das Ergebnis eines ernsten Studiums ist, des Studiums der mechanischen Wärmetheorie, deren Hauptsätze wir in der Einleitung kennen gelernt haben. Die mit der Maschine erreichten Erfolge sind um so anerkennenswerter, als die Schwierigkeiten, welche sich dem Erfinder in den Weg stellten, fast unüberwindlich schienen, da selbst von berufenen Fachleuten der zunächst nur in der Theorie und auf dem Papier entstandenen Maschine von vorn herein jede Lebensfähigkeit abgesprochen wurde, und da auch die ersten thatsächlich ausgeführten Versuche mit der Maschine vollständig ergebnislos verliefen.

Um den Fortschritt zu verstehen, welcher in der Erfindung Diesels liegt, muß vor allen Dingen auf die in den früheren Erörterungen öfters angeführte Thatsache hingewiesen werden, daß bei allen Gasmaschinen im engeren und weiteren Sinne der thermische Wirkungsgrad der Maschine, das heißt das Verhältnis der in nutzbare Arbeit umgewandelten Wärme zur gesamten aufgewendeten Wärmemenge (S. 23) um so höher wird, je kleiner das Volumen ist, bei welchem die Zündung stattfindet, oder auf Viertaktmaschinen angewendet, daß die der Maschine zugeführte Wärme um so besser ausgenutzt wird, je höher die Verdichtung vor der Zündung getrieben wird. Wir hatten gesehen, daß schon hierdurch allein der „neue Otto" der alten Lenoirmaschine überlegen war und hatten gefunden, daß eben wegen der höheren Verdichtung der thermische Wirkungsgrad der Kraftgas- und Gichtgasmaschine besser ist als der der Leuchtgasmaschine (S. 82). Wenn man nun auch in neuerer Zeit mit der Verdichtung im allgemeinen weiter hinaufgeht, als es früher für zulässig erachtet wurde, so ist man doch mit Rücksicht auf die Gefahr vorzeitiger Selbstentzündung des Gasgemisches sowohl bei den eigentlichen Gasmaschinen als auch bei den Benzin- und Petroleummaschinen an verhältnismäßig enge Grenzen gebunden, welche bei Leuchtgasmaschinen etwa 6 atm, bei den gewöhnlichen Petroleummaschinen etwa 4 atm Überdruck betragen. Da nun bei der Dieselmaschine die Verdichtung vor der Zündung etwa bis auf 35 atm Überdruck getrieben wird, so erkennt man leicht, daß der thermische Wirkungsgrad der Dieselmaschine wesentlich höher, das heißt die Wärmeausnutzung wesentlich besser sein muß als bei allen bisher besprochenen neueren Wärmekraftmaschinen.

Das Mittel, welches Diesel anwendet, um ohne Gefahr einer vorzeitigen Selbstzündung eine derartig hohe Verdichtung vor der Zündung zu ermöglichen, besteht einfach darin, daß er den Brennstoff nicht schon während des Ansaugehubes der Luft beimischt, sondern die Maschine nur reine Luft ansaugen und diese Luft allein bis auf die vorher angegebene Höhe verdichten läßt.

Die im Viertakte arbeitende Maschine wird bis jetzt nur als stehende Maschine gebaut und zwar so, daß der auf der *einen Seite offene* Cylinder sich oben befindet, Abb. 29, während *der durch einen* Kreuzkopf (*k*) geradegeführte Kolben ver-

mittelst einer Schubstange (*s*) die unten liegende Maschinenwelle (*w*) antreibt. Die zur Erzielung der verschiedenen Arbeitsabschnitte erforderlichen (in der Figur nicht gezeichneten) Ventile sind in dem Deckel des Arbeitscylinders untergebracht.

Die durch das nebenstehende Diagramm Abb. 30 erläuterte Arbeitsweise der neueren Dieselmaschinen ist nun die folgende. Geht der Maschinenkolben nach abwärts, so saugt er während des ganzen Hubes *a b* reine Luft an. Während des zweiten Hubes verdichtet dann der nach aufwärts gehende Kolben die angesaugte Luft bis auf etwa 30—35 atm, wodurch die Temperatur der Luft bis weit über die Entzündungstemperatur der

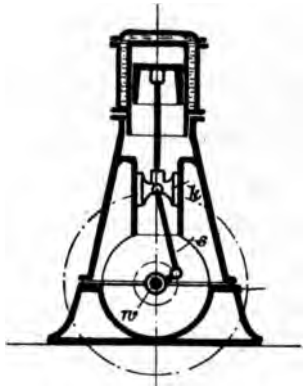


Abb. 29.

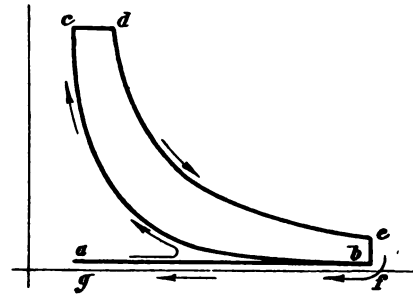


Abb. 30.

meisten Brennstoffe, das heißt bis über 600 ° gesteigert wird (Kurve *b c*). Ist der Kolben im oberen Totpunkte angekommen, so beginnt die Zuführung des Brennstoffes — bis jetzt meist Petroleum. In ganz fein verteiltem Zustande während des Kolbenweges *c d* in die glühend heiße Luft eingeführt, entzündet sich der Brennstoff augenblicklich und verbrennt, da er ja Luft in genügender Menge vorfindet, sofort in vollkommenster Weise. Dann findet während des übrigen Kolbenhubes *d e* ganz wie bei den gewöhnlichen Gas- und Petroleummaschinen eine Ausdehnung der heißen, hochgespannten Gase statt, durch Öffnung des Auspuffventiles im Punkte *e* verlieren die Gase ihre Spannung und werden dann mit Außenluftspannung aus der Maschine ausgetrieben (*f g*), worauf das Spiel von neuem beginnt.

Der eben besprochene Kreisprozeß weist verschiedene Eigentümlichkeiten auf, durch welche er sich wesentlich von dem Kreisprozesse der früher behandelten Viertaktmaschinen unterscheidet. Auf die bedeutend höhere Verdichtung vor dem Eintritte der Zündung und die damit verbundene Erhöhung des thermischen Wirkungsgrades der Maschine wurde bereits hingewiesen. Eine weitere Eigentümlichkeit, die als ein ganz besonderer Vorzug der Maschine bezeichnet werden muß, ist der Umstand, daß bei dieser Arbeitsweise eine vollständig sichere, zuverlässige Zündung des Brennstoffes eintritt, ohne daß irgend eine Zündvorrichtung an der Maschine vorhanden wäre. Daß das ein großer Vorzug der Dieselmaschine ist, ergiebt sich ohne weiteres, wenn man bedenkt, daß auf Grund dieser Eigenschaft die Dieselmaschine auch in solchen Betrieben verwendet werden kann, wo die Anwendung von Gasmaschinen und gewöhnlichen Petroleummaschinen mit offen brennender Zündflamme oder der Flamme zur Erhitzung des Glührohres und des Verdampfers der Feuersgefahr wegen ausgeschlossen ist.

Der dritte wesentliche Unterschied besteht in der Art der Wärmezuführung, das heißt in der Art der Verbrennung des zugeführten Brennstoffes. Alle früher besprochenen Gasmaschinen im engeren und weiteren Sinne haben den Übelstand gemeinsam, daß das ganze zur Verwendung gelangende Ladungsgemisch sich, wenn auch nicht augenblicklich, so doch außerordentlich rasch entzündet. Spannung und Temperatur steigen dadurch ganz plötzlich zu bedeutender Höhe an, was eine lebhafte Cylinderkühlung notwendig macht, welche wiederum, wie früher gezeigt, den Übelstand hat, daß ein großer Teil der entstandenen Wärme einfach vernichtet wird.

Bei der Dieselmaschine liegen die Verhältnisse anders. Hier wird der Brennstoff allmählich eingeführt und es ist leicht zu ersehen, daß man den Eintritt des Brennstoffes in den Cylinder ganz nach Belieben wird regeln können, beispielsweise so, daß während der Verbrennung entweder die Temperatur oder die Spannung gleich bleiben.

Wegen dieser verhältnismäßig lange andauernden Verbrennung des allmählich eingeführten Brennstoffes, im Gegensatze zu der Verpuffung des Ladungsgemisches bei allen früher erwähnten Gasmaschinen, bezeichnet man wohl auch die Dieselmaschine *als Verbrennungsmaschine*, während man die übrigen

Gas- und Petroleummaschinen unter dem Namen Explosions- oder Verpuffungsmaschinen zusammenfaßt.

Anfänglich hatte nun Diesel beabsichtigt, die Verbrennung so zu regeln, daß dabei die Temperatur auf gleicher Höhe blieb. Wir hatten in der Einleitung gesehen, daß nach dem Gesetze von Mariotte bei gleicher Temperatur die Spannungen sich umgekehrt verhalten wie die Volumina, oder mit anderen Worten, daß bei gleichbleibender Temperatur mit zunehmendem Volumen die Spannung in ganz bestimmter Weise (S. 20) abnimmt. Es würde also bei dieser Arbeitsweise die Linie *c d*, welche der Indikator während der Wärmezuführung beschreibt, keine Wagerechte, sondern eine stark abfallende Kurve sein (Isotherme). Da ferner bei einer solchen Wärmezuführung unter gleichbleibender Temperatur der höchste Druck und die höchste Temperatur des Kreisprozesses im Gegensatze zu den Verpuffungsmaschinen nicht erst durch die Zündung, sondern bereits vor der Zündung des Brennstoffes durch die Verdichtung erreicht werden, so wäre es auch möglich durch Ausdehnung allein die Temperatur und damit die Spannung der Verbrennungsgase annähernd auf den Anfangszustand zurückzuführen, das heißt die erzeugte Wärme in sehr vollkommener Weise auszunutzen. Das Diagramm erhielte dadurch die durch Abb. 31 veranschaulichte Form, und es läßt sich dabei theoretisch ein thermischer Wirkungsgrad von bisher unerreichter Höhe, nämlich 70 % und darüber herausrechnen.

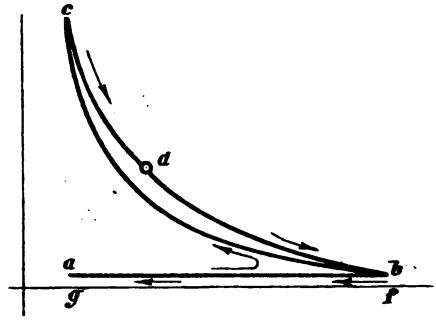


Abb. 31.

Die Versuche, die Maschine mit diesem Diagramme arbeiten zu lassen, schlugen jedoch vollständig fehl. Es ergab sich, daß die Diagramme zu wenig Flächeninhalt erhielten, das heißt es ergab sich, daß die durch die Verbrennung des Brennstoffes geleistete Arbeit kaum dazu ausreichte, um die in der Maschine selbst auftretenden großen Widerstände zu überwinden.

Es stellte sich daher als zweckmäßig heraus, den Kreis-

prozeß in der Maschine so zu gestalten, wie er oben besprochen wurde, d. h. die Wärme in der Weise zuzuführen, daß dabei die Spannung im Cylinder unverändert blieb. Da jedoch, wie wir früher (S. 19) gesehen hatten, bei zunehmendem Volumen die Spannung nur dann unverändert bleibt, wenn die Temperatur zunimmt, so folgt daraus, daß bei einer Wärmezuführung unter gleichbleibender Spannung die Temperatur im Cylinder zunehmen muß. In der That findet auch, wie sich durch die Regeln der mechanischen Wärmetheorie berechnen läßt, in der Dieselmaschine während der Verbrennung eine sehr starke Temperatursteigerung statt, welche je nach der Dauer der Einströmung bis auf das Doppelte der Anfangstemperatur und darüber anwachsen kann. Diese Temperatursteigerung hat aber erstens die Notwendigkeit zur Folge, ebenso wie bei den Verpuffungsmaschinen eine lebhafte Kühlung der Cylinderwandungen eintreten zu lassen und zweitens ergiebt sich daraus die Unmöglichkeit, durch Ausdehnung die Temperatur und Spannung der Auspuffgase bis auf den Anfangszustand zurückzuführen, das heißt es wird in ähnlicher Weise wie bei den Verpuffungsmaschinen (S. 84) ein Teil der in den Auspuffgasen enthaltenen Wärme unausgenutzt bleiben.

Wenn sich nun auch infolge notgedrungenen Abweichens von dem idealen Kreisprozesse nicht der hohe thermische und — worauf es ja vor allem ankommt — wirtschaftliche Wirkungsgrad erreichen ließ, den Diesel zu erreichen gehofft hatte, so ist der wirtschaftliche Wirkungsgrad, das heißt der Brennstoffbedarf für eine Nutzpferdestärke doch immerhin ein sehr günstiger und namentlich ganz bedeutend günstiger als bei fast allen mit Verpuffungsgemischen arbeitenden Petroleummaschinen (siehe Zusammenstellung auf S. 46).

Einen bedeutenden Vorteil weist außerdem die Dieselmaschine auf, durch welchen sie sämtliche bisher besprochenen neueren Wärmekraftmaschinen ganz wesentlich übertrifft, nämlich den, daß ihr wirtschaftlicher Wirkungsgrad bei abnehmender Leistung nur sehr langsam abnimmt, ja sogar zunächst, bei geringem Sinken des Arbeitsbedarfes, ein klein wenig zunimmt. Der Grund, warum bei Verpuffungsmaschinen der Brennstoffbedarf für eine Nutzpferdestärke bei abnehmender Leistung so sehr stark wächst, liegt, wie wir früher (S. 103) gesehen hatten, *vor allen Dingen in* der mehr oder minder mangelhaften Re-

gulierung. Demgegenüber ist die Regulierung der Dieselmaschine fast vollkommen zu nennen, denn sie besteht einfach darin, daß bei abnehmendem oder zunehmendem Arbeitsbedarfe die Brennstoffzufuhr früher, beziehungsweise später unterbrochen wird. Wird nun aber bei abnehmender Leistung weniger Brennstoff eingeführt, so findet der Brennstoff erstens eine viel größere Menge Luft zu seiner Verbrennung vor, da ja die angesaugte und verdichtete Luftmenge stets dieselbe bleibt. Ferner aber findet dann die Verbrennung bei kleinerem Volumen statt, als wenn die Brennstoffzufuhr länger andauert (denn bei beendigter Zufuhr ist eben der Kolben im Cylinder noch nicht so weit vorgeschritten) und wir hatten oben (S. 74) gesehen, daß damit auch sofort der thermische Wirkungsgrad der Maschine steigt. Die Maschine würde demnach immer günstiger, das heißt immer wirtschaftlicher arbeiten, je weiter die Arbeitsleistung sinkt, wenn nicht gleichzeitig der mechanische Wirkungsgrad der Maschine, das heißt das Verhältnis der nutzbar abgegebenen zu der im Cylinder geleisteten Arbeit bei abnehmender Leistung fortwährend schlechter würde, aus dem einfachen Grunde, weil die von der Maschine zu überwindenden sehr beträchtlichen Widerstände stets dieselben bleiben, ganz gleichgültig, ob die Maschine mehr oder weniger Arbeit leistet. Die Folge davon ist, daß der wirtschaftliche Wirkungsgrad (das Produkt aus thermischem und mechanischem Wirkungsgrade) bei sinkender Arbeitsleistung zunächst zwar etwas zunimmt, dann aber ebenfalls abnimmt, jedoch bedeutend langsamer als dies bei Verpuffungsmaschinen der Fall ist.

Nach Musil*) kann man annehmen, daß wenn die Arbeitsleistung der Dieselmaschine auf etwa 0,8 der Nennleistung sinkt, daß dann der Brennstoffbedarf für 1 Std-PS nur 0,93 des Brennstoffbedarfes bei der Nennleistung beträgt, und daß erst beim Herabsinken der Arbeitsleistung auf 0,6 der Nennleistung der Brennstoffbedarf der Nennleistung wieder erreicht wird.

Sehr deutlich zeigt dies die Schaulinie*) Abb. 32 auf folgender Seite, welche in derselben Weise erhalten wurde, wie die, welche durch Abb. 20 S. 104 den Brennstoffbedarf der Verpuffungsmaschinen bei abnehmender Leistung darstellt. Bezüglich der Erklärung kann auf die damaligen Erörterungen verwiesen

*) *Musil*, Wärmemotoren, Braunschweig 1899.

werden. Die in die untenstehende Abb. 32 eingetragene punktierte Linie stellt noch einmal die Schaulinie der Abb. 20 dar, um das Sinken des Wirkungsgrades bei den beiden Maschinengattungen, Verpuffungsmaschinen und Verbrennungsmaschinen (Dieselmaschine), vergleichen zu können.

Infolge des langsamen Sinkens des Wirkungsgrades wird die Dieselmaschine namentlich da mit Vorteil verwendet werden können, wo der Arbeitsbedarf ein sehr schwankender ist, während, wie wir früher gesehen hatten, die Verpuffungsmaschinen nur dann wirtschaftlich arbeiten, wenn der Arbeitsbedarf ein vollständig oder nahezu gleichbleibender ist und von der Nennleistung der Maschine möglichst wenig abweicht.

Abb. 32.

Auf die Bauart der Dieselmaschine mit allen ihren Einzelheiten kann hier nicht näher eingegangen werden. Nur einige dieser Einzelheiten mögen noch erwähnt werden und zwar deshalb, weil sie gerade der Dieselmaschine eigentümlich sind. Hierzu gehört vor allen Dingen eine kleine Luftverdichtungspumpe, welche von der Maschine selbst angetrieben wird und einem doppelten Zwecke dient. Zunächst nämlich ist es erforderlich, dem zum Betriebe der Maschine verwendeten Brennstoffe — meistens Petroleum — eine sehr hohe Pressung zu geben, da er ja noch mit einem hinreichenden Überdrucke in die auf 30—35 atm verdichtete, in dem Arbeitscylinder befindliche Luft eingespritzt werden soll. Dieser Überdruck beträgt etwa 15 atm, so daß also der Brennstoff unter einen Druck von etwa 45—50 atm gebracht werden muß, wozu eben die erwähnte Verdichtungspumpe verwendet wird.

Mit dieser Pumpe steht dann ferner ein in der Nähe der Maschine irgendwo aufgestelltes cylinderförmiges Gefäß in Verbindung, etwa von der Form der bekannten eisernen Flaschen, in welchen flüssige Kohlensäure aufbewahrt wird. Dieses Gefäß, *Luftbehälter genannt*, dient dazu, die von der ebengenannten

Pumpe erzeugte überschüssige verdichtete Luft in sich aufzunehmen, die dann später zum Ingangsetzen der Maschine verwendet wird.

Infolge dieser Vorrichtung gestaltet sich das Anlassen der Dieselmaschine ganz besonders einfach. Die Maschine wird mit der Hand so gedreht, daß der Kolben eben die obere Totlage überschritten hat, dann wird durch ein geeignetes Ventil der Raum über dem Kolben mit dem obenerwähnten Luftbehälter in Verbindung gebracht, die stark verdichtete Luft drückt auf den Kolben und setzt so die Maschine in Gang. Nach wenigen Hüben schließt die Maschine selbstthätig die Verbindung mit dem Luftbehälter ab, worauf der gewöhnliche Gang der Maschine beginnt. Sollte durch irgend einen Zufall der Druck in dem Luftbehälter verloren gehen, so ist Vorsorge getroffen, daß die Maschine auch mit verdichteter Kohlensäure in Gang gesetzt werden kann. Dieses leichte Ingangsetzen wird ebenfalls, wenn die Maschine einmal in vollständig durchgearbeiteter, im Betriebe erprobter Ausführung bezogen werden kann, ein großer Vorteil der Dieselmaschine sein, namentlich gegenüber den Benzin- und gewöhnlichen Petroleummaschinen, bei denen es oft einer geraumen Zeit bedarf, um die erste Zündung und damit ein Anlassen der Maschine zu erreichen. Die Dieselmaschine kann sogar unter voller Belastung in Gang gesetzt werden, was bei Leuchtgas- und Kraftgasmaschinen nur selten und unter Verwendung besonderer Vorrichtungen, bei Benzin- und gewöhnlichen Petroleummaschinen dagegen überhaupt nicht möglich ist.

Ein nicht zu unterschätzender Vorteil der Dieselmaschine besteht endlich darin, daß man, theoretisch wenigstens, in der Wahl des zum Betriebe der Maschine verwendbaren Brennstoffes vollständig unbeschränkt ist, da sämtliche überhaupt denkbaren flüssigen, wie gasförmigen Brennstoffe, ja selbst Steinkohlen in gepulvertem Zustande zum Betriebe der Maschine verwendet werden können. Praktisch stellen sich allerdings der Verwendung verschiedener Brennstoffe mannigfache Schwierigkeiten in den Weg, so daß bis jetzt hauptsächlich die verschiedenen Destillationserzeugnisse des Rohpetroleums sowie das durch Destillation der Braunkohle gewonnene Solaröl als Betriebsmittel verwendet werden. Versuche zur Verwendung anderer Brennstoffe, so namentlich der Masut genannten Rückstände

bei der Petroleumgewinnung sowie des Kraftgases und gepulverter Steinkohle sind im Gange und dürften, wenn von Erfolg gekrönt, der Dieselmaschine weite Anwendungsgebiete verschaffen.

All den erwähnten Vorteilen der Dieselmaschine stehen jedoch auch wiederum große Nachteile gegenüber, die zum Teil vielleicht im Laufe der Zeit durch Verbesserung der Bauart werden beseitigt werden können, zum Teil jedoch auch in dem ganzen Wesen der Maschine begründet sind. Zu den Nachteilen der ersten Art gehört vor allen Dingen der sehr hohe Preis der einzelnen Maschine, der bis jetzt noch mehr als das Doppelte des Preises gleich starker Verpuffungsmaschinen (wie Leuchtgas- und Kraftgasmaschinen) beträgt. Da diese hohen Anschaffungskosten amortisiert und verzinst werden müssen, so geht dadurch der Vorteil des geringeren Brennstoffbedarfes bei der Dieselmaschine wieder verloren, was aus der kleinen Zusammenstellung auf S. 51 deutlich zu ersehen ist. Ein weiterer Übelstand der Dieselmaschine ist der, daß sie außerordentlich feinfühlige und empfindliche Einzelteile besitzt, welche einer beständigen sorgfältigen Aufsicht eines durchaus fachkundigen Wärters bedürfen. Sie bildet dadurch einen schroffen Gegensatz zu allen bisher besprochenen Verpuffungsmaschinen, selbst zu den gewöhnlichen Petroleummaschinen, die alle, wenn einmal ordnungsmäßig in Gang gesetzt, stundenlang fortarbeiten können ohne einer Aufsicht und Wartung zu bedürfen. Selbst starke Verschmutzungen und gröbere Undichtigkeiten der Ventile und des Kolbens können wohl auf den Brennstoffbedarf ungünstig einwirken, ohne deswegen die Maschine zum Stillstande zu bringen, während eine undicht gewordene Dieselmaschine sofort ihren Dienst versagt aus dem einfachen Grunde, weil dann bei der Verdichtung die zur Entzündung des Brennstoffes notwendige hohe Temperatur, beziehungsweise der zum Einführen des Brennstoffes in die Maschine notwendige hohe Druck nicht mehr erreicht wird.

Der letztgenannte Übelstand ist in dem Wesen der ganzen Maschine begründet und läßt sich eben nur dadurch auf ein möglichst geringes Maß herabdrücken, daß die Maschine mit einer außergewöhnlichen Sorgfalt hergestellt wird, was gleichbedeutend ist mit einer Erhöhung der Herstellungskosten, und *dadurch*, daß die Maschine mit großer Aufmerksamkeit und *Sachkenntnis bedient* wird.

Die außerordentlich hohen Pressungen, mit welchen die Dieselmaschine andauernd arbeitet, bewirken, daß die Wellenlager der Maschine starken Drücken ausgesetzt sind, weshalb auch der Verbrauch an Schmiermaterial ein nicht unbedeutender ist.

Ein Übelstand, der schon früher bei der allgemeinen Besprechung des Viertaktes erwähnt wurde, tritt bei der Dieselmaschine in ganz besonders verschärfter Weise zu Tage, nämlich die Unregelmäßigkeit des Ganges während eines Viertaktes, verursacht durch die große Höhe, bis zu welcher die Verdichtung vor der Zündung getrieben wird. Eine Folge davon ist, daß die Maschine einmal sehr schwere Schwungräder braucht, und daß, wenn eine besonders große Gleichförmigkeit des Ganges verlangt wird, die Maschine als Zwillingsmaschine ausgeführt werden muß, wobei, wie früher (S. 77) erwähnt, bei jeder Umdrehung der Maschinenwelle eine Zündung stattfindet.

Schließlich darf nicht unerwähnt bleiben, daß die Dieselmaschine bisher erst für größere Leistungen, 15 PS und darüber, gebaut wurde, so daß sie als Kraftmaschine für das Kleingewerbe, bis jetzt wenigstens, noch nicht in Betracht kommt.

Ziehen wir aus dem Gesagten den Schluß, so sehen wir, daß die Dieselmaschine in theoretischer Hinsicht zwar einen Fortschritt unter den neueren Wärmekraftmaschinen darstellt, und daß sie möglicherweise nach Vervollkommnung einiger wichtiger Einzelheiten ihrer Bauart ein großes Anwendungsgebiet finden wird. Wird jedoch möglichste Einfachheit der Bauart und vor allen Dingen möglichste Anspruchslosigkeit in der Bedienung verlangt, Anforderungen, die in neuerer Zeit in immer erhöhterem Maße an eine Kraftmaschine gestellt werden, so dürfte es der Dieselmaschine wohl nicht gelingen die übrigen neueren Wärmekraftmaschinen und namentlich die geniale Erfindung Ottos zu verdrängen, an deren Verbesserung von Gelehrten wie von Fabrikanten noch immer unablässig und mit Erfolg gearbeitet wird.

Register.

Absoluter Nullpunkt 17.
Absolute Temperatur 17.
Acetylengasmaschine 70.
Adiabate 21.
Adiabatische Zustandsänderung 21.
Aggregatzustand 27.
Anlassen der Gasmaschine 109.
Anlassen der Dieselmaschine 139.
Anlaßvorrichtungen 111.
Ansaugeabschnitt 78.
Ansaugetopf 109.
Arbeit 2, 5.
Arbeitsvermögen, Änderung des 15, 16.
Atmosphärendruck 11.
Atmosphärische Gasmaschine 55, 71.
Aufbau der Gasmaschine 86.
Ausdehnungslinie bei der Gasmaschine 83.
Auslaßventil 91, 99.
Ausnutzung der Wärme 42, 64.
Ausnutzung der Wärme bei der Dampfmaschine 32, 33.
Auspuffabschnitt 83.
Auspuffdampf, Benutzung des 34.
Auspuffmaschine 31.
Auspuff bei Petroleummasch. 126.
Auspufftopf 109.
Außenluft, Druck der 11.
Aussetzer 99.
Ausströmen eines Gases 17.

Benzin 112, 113.
Benzingaserzeuger 116, 117.
Benzinmaschinen 45, 46, 50, 114.
Beschreibung d. Gasmaschinen 104.
Betriebskosten der Wärmekraftmaschinen 50, 51, 68.
Brennstoffe der Dieselmaschine 139.
Brennstoffverbrauch 46, 50, 126.

Clerk, Dugald 62.

Dampfdruck 11.
Dampfheizung 28.
Dampfkessel 26.
Dampfkesselexplosionen 29.
Dampfkocheinrichtungen 28.
Dampfmaschinen 25.
Dampfmaschinen, warum baut man noch 35, 128.
Dampfmaschinen, Übelstände der 34.
Diagramm 11, 12
Diagramm der atmosphärischen Gasmaschine 56.
Diagramm der Dieselmaschine 133, 135.
Diagramm der Lenoirmaschine 13.
Diagramm d. Viertaktmaschinen 76.
Dieselmaschine 131.
Dieselmaschine, Anlassen der 139.
Dieselmaschine, Brennstoffe der 139.
Dieselmaschine, Brennstoffverbrauch der 46, 51.
Dieselmaschine, Diagramm der 133. 135.
Diffusion der Gase 60.
Dopp-Maschine 126.
Dowsongas 65.

Einheit der Arbeit 3.
Einheit der Kraft 1.
Einheit der Leistung 5.
Einheit der Wärme 14.
Eintaktgasmaschine 86.
Elektromotor 49.
Energie, Satz von der Erhaltung der 13, 14.
Explosion von Dampfkesseln 29.
Explosion von Gasgemischen 62.

Flaschenzug 2, 3.
Flammenzündung 54.

Gas, siehe Leuchtgas.
Gasdruckregler 106.
Gasmaschine, atmosphärische 55, 71.
Gasmaschine, Aufbau der 86.
Gasmaschine, Beschreibung der 104.

Gasmaschine, Geschichte der 52.
Gasmaschine von Lenoir, s. Lenoir.
Gasmaschine von Otto, s. Otto.
Gasmaschine, Regulierung der 96.
Gasmaschine, Steuerung der 90.
Gasgemisch, Heizwert von —en 70.
Gasgemisch, stärkstes 61, 62.
Gasuhr 106.
Gasventil 91, 99
Gasverbrauch b. Gasmischen 43, 69.
Gay-Lussac, Gesetz von 18, 19.
Gekröpfte Welle 88.
Gemischeinlaßventil 91.
Geruch d. Petroleummaschinen 125.
Gesamtwärme 29.
Geschwindigkeit des Kolbens 72.
Gichtgase 68.
Glührohr 94.
Gradführung des Kolbens 89.
Grob u. Co.-Maschine 123.
Gummibeutel b. Gasmaschinen 107.

Heißluftmaschinen 39.
Heizwert des Gases 44.
Heizwert von Gasgemischen 70.
Hochofengase 68.
Hugon 54.

Indikator 9.
Indizierte Leistung 11.
Indizierte Pferdekraft 8.
Ingangsetzen d. Dieselmaschine 139.
Ingangsetzen der Gasmaschine 109.
Isotherme 20.
Isotherm. Zustandsänderung 19.

Kjelsberg-Maschine 121.
Kleinkraftmaschinen 35, 46.
Kohlen, Verbrennungswärme d. 32.
Kohlenwasserstoffe 60.
Koks 64.
Kolben, Geschwindigkeit der 72.
Kolbengradführung 89.
Kondensationsmaschinen 31.
Kondensator b. Dampfmaschinen 31.
Kreisprozeß 22.
Kraft 1 5.
Kraft, Erzeugung von 14.
Kraftgas 65.
Kraftmaschinen 4.
Kraft eines Pferdes 7.

Kühlung d. Cylinderwand. 63, 89.
Kühlwasserbedarf 20.
Kühlwassermantel 90.

Laderaum 79.
Latente Wärme 28.
Lebon 52.
Leistung 5.
Lenoirmaschine 41, 53, 72.
Leuchtgas 59.
Leuchtgas, Erfindung des 52.
Luftbehälter der Dieselmaschine 138.
Luftverdichtungspumpe der Dieselmaschine 138.

Mariottes Gesetz 18.
Mariotte-Gay-Lussac, Gesetz v. 22.
Mayer, Robert 13.
Mechanisches Wärmeäquivalent 14.
Mechanischer Wirkungsgrad 9.
Mineralschmieröle 114.
Mischventile 91.
Mischventile, selbstthätige 92.
Murdoch 59.
Muskelkraftmaschinen 4.

Nebelform des Petroleums 119.
Nullpunkt, absoluter 17.
Nutzpferdekraft 7.

v. Oechelhäuser u. Junkers, Maschine von 86.
Otto, Maschine von 57.
Otto u. Langen 55.

Petroleum 112, 113.
Petroleummaschinen 45, 46, 50, 118.
Petroleummaschinen, Übelstände der 124.
Pferdekraft 6.
Pleuelstange 87.

Regulator b. Gasmaschinen 98, 100.
Regulierung der Gasmaschinen 96.
Retorten 59.
Rohpetroleum 112.

Satz von der Erhaltung der Energie 13 14.
Selbstentzündung von Gasgemischen 82.
Schubstange 87.
Schwefelig-Säure-Maschine 57.
Schwungradwelle 88.

Spannung d. Wasserdampfes 28, 29.
Stärkstes Gasgemisch 61.
Steinöl 112.
Steuerung der Gasmaschine 90.
Stundenpferdekraft 23, 32, 46.

Teer 64.
Thermischer Wirkungsgrad 22.
Temperatur, absolute 17.
Temperatur des Wasserdampfes 29.

Übelstände der Dampfmaschinen 34.
Übelstände der Petroleummaschinen 124.
Übelstände d. Viertaktmaschinen 77.
Überdruck 11.
Überlastung der Gasmaschinen 129.

Vaseline 114.
Ventilanordnung der Gasmaschine 91.
Verbrennungswärme der Steinkohlen 32.
Verbrennung, vollkommene und unvollkommene 43, 60.
Verdampfer bei Petroleummaschinen 120, 122, 124.
Verdampfungswärme 28, 29.
Verdampfung von Wasser 27, 28.
Verdichtete Gasgemische 71.
Verdichtung bei der Dieselmaschine 132.
Verdichtung eines Gases 16.
Verdichtungsabschnitt 79.
Verdünnte Gasgemische, Vorteile der 79.
Vergaser bei Petroleummaschinen 120, 121.
Verpuffungsabschnitt 82.
Verschlechterung des Wirkungsgrades bei abnehmender Leistung 102, 137.
Verschmutzung der Petroleummaschine 125.
Viertakt 58, 74.
Viertaktmaschinen, Nachteile der 77.
Verpuffung 61, 62.
Vollkommene Verbrennung 43, 60.
Volumenzunahme bei Temperatur-*erhöhung* 17.
Vorzüge der neueren Wärmekraftmaschinen 46.

Wärme, Gesamt- 29.
Wärme, latente 28.
Wärme, Verbrennungs- 32.
Wärme, Verdampfungs- 28.
Wärmeäquivalent 14.
Wärmeaufspeicherungsvermögen des Dampfes 28.
Wärmeausnutzung bei Benzinmaschinen 45.
Wärmeausnutzung bei Dampfmaschinen 32, 36.
Wärmeausnutzung bei Dieselmaschinen 45.
Wärmeausnutzung bei der Gasbereitung 64.
Wärmeausnutzung bei Gasmaschinen 44.
Wärmeausnutzung bei neueren Wärmekraftmaschinen 42.
Wärmeausnutzung bei Petroleummaschinen 45, 126.
Wärmeeinheit 14.
Wärmegleichwert 14.
Wärmekraftmaschinen 4.
Wärmekraftmaschinen, Vorzüge der 46.
Wasserkraftmaschinen 4.
Welle, gekröpfte 88.
Windkraftmaschinen 4.
Wirkungsgrad, mechanischer 9.
Wirkungsgrad, thermischer 22.
Wirkungsgrad, Verschlechterung des — bei abnehmender Leistung 102, 137.
Wirkungsgrad, wirtschaftlicher 24, 46.
Wirkungsweise der neueren Wärmekraftmaschinen 71.
Wirtschaftlicher Wirkungsgrad 24, 46.

Zerstäubungsvorrichtung bei Petroleummaschinen 121.
Zubehörteile zur Gasmaschine 106.
Zündung 82, 93.
Zustandsänderungen 18.
Zweitaktmaschinen 84.

Meeresforschung und Meeresleben. Von Dr. Janson. Mit vielen Abbildungen. Geh. M 1.—, geschmackvoll geb. M 1.25.

Schildert kurz und lebendig die Fortschritte der modernen Meeresuntersuchung.

Bau und Leben des Tieres. Von Dr. W. Haacke. Mit zahlreichen Abbildungen im Text. Geh. M 1.—, geschmackv. geb. M 1.25.

Indem uns der Verfasser die Tiere als Glieder der Gesamtnatur zeigt, lehrt er uns zugleich Verständnis und Bewunderung für deren wunderbare Harmonie, die, wie sie großen, in dem Zusammenwirken der vielen Tausende von Lebewesen, so auch im Kleinsten, in der Zweckmäßigkeit auch der unscheinbarsten Organe, sich erkennen läßt.

Der Bau des Weltalls. Von Prof. Dr. J. Scheiner. Mit zahlreichen Abbildungen. Geh. M 1.—, geschmackv. geb. M 1.25.

Will in das Hauptproblem der Astronomie, die Erkenntnis des Weltalls, einführen.

Einführung in die Theorie und den Bau der neueren Wärmekraftmaschinen. Von Ingenieur Richard Vater. Mit zahlreichen Abbildungen. Geh. M 1.—, geschmackv. geb. M 1.25.

Will durch eine allgemein bildende Darstellung Interesse und Verständnis für die immer wichtiger werdenden Gase, Petroleum- und Benzinmaschinen erwecken.

Das Eisenhüttenwesen erläutert in acht Vorträgen von Prof. Dr. H. Wedding. Mit 12 Figuren im Text. Geh. M 1.—, geschmackvoll geb. M 1.25.

Schildert in gemeinnütziger Weise, wie Eisen, das unentbehrlichste Metall, erzeugt und in seiner Gebrauchsfähigkeit gebracht wird.

Am sausenden Webstuhl der Zeit. Übersicht der Wirkungen der Entwicklung der Naturwissenschaften u. der Technik. Von Launhardt, Geh. Reg.-Rat, Prof. a. d. Techn. Hochschule zu Hannover. Mit vielen Abbild. Geh. M 1.—, geschmackvoll geb. M 1.25.

Ein geistreicher Rückblick auf die Entwicklung der Naturwissenschaften und der Technik, bei die Wirkungen unserer Zeit verdankt werden.

Die Metalle. Von Prof. Dr. E. Scheid. Mit 18 Abbildungen. Geh. M 1.—, geschmackvoll geb. M 1.25.

Behandelt die für Kulturleben und Industrie wichtigen Metalle nach ihrem Wesen, ihrer Verbreitung und ihrer Gewinnung.

Geschichte. Kunst- und Kulturgeschichte. Volkswirtschaft und Verkehrswesen. Staatswissenschaft. Geographie.

Deutsche Baukunst im Mittelalter. Von Prof. Dr. [illegible] Mit zahlr. Abb. i. T. Geh. M 1.—, geschmackv. [illegible]

Will mit der Darstellung der Entwicklung der deutschen [illegible] Mittelalters zugleich über das Wesen der Baukunst als [illegible]